
Dissertation zum Thema

"Entwicklung des Holzleimbaues
unter besonderer Berücksichtigung der Erfindungen von Otto Hetzer
- ein Beitrag zur Geschichte der Bautechnik"

Verfasser : Dipl.-Ing. Christian Müller

Inhaltsverzeichnis

	Seite
Dank	4
Vorwort	5
1.0 Das Thema	5
1.1 Zielstellung und Eingrenzung	6
1.1.1 Ingenieurmäßige Aspekte	6
1.1.2 Architektonische Aspekte	7
1.2 Definitionen und Begriffsbestimmungen	7
2 Anfänge und Entwicklungen des Holzleimbaues bis zum 1. Weltkrieg	8
2.1 Historischer Überblick	8
2.2 Vorläufer des Holzleimbaues	11
2.3 Parallele Entwicklungen	24
2.4 Otto Hetzer - Persönliches und Werksgeschichte	25
2.5 Technische Entwicklung - Patente Otto Hetzer's	28
2.6 Analyse ausgewählter nationaler und internationaler Tragwerksbeispiele	33
2.6.1 Decken und Dachkonstruktionen	33
2.6.2 Bahnsteigüberdachungen	41
2.6.3 Hallen	45
2.6.4 Brücken	68
2.7 Folgerungen	71
3.0 Weiterentwicklung nach dem 1. Weltkrieg bis zur Gegenwart	76
3.1 Analyse der europäischen Entwicklung	76
3.1.1 Skandinavien	76
3.1.2 Holland - Firma Nemaho	76
3.2 Analyse ausgewählter nationaler und internationaler Tragwerksbeispiele	
3.2.1 Bogenbinderhallen	79
3.2.2 Rautendächer	87
3.2.3 Fachwerkträger und Raumstabwerke	89
3.2.4 Stabwerkskuppeln - vorwiegend druckbeanspruchte Konstruktionen	93
3.2.5 Dachtragwerke - vorwiegend zugbeanspruchte Konstruktionen	97
3.2.6 Brücken	103

4.0	Bauschäden und Sanierung alter Holzleimtragwerke	106
5.0	Materialeigenschaften	108
5.1	Holz	108
5.1.1	zulässige Festigkeiten von Nadelholz	109
5.1.2	zulässige Festigkeiten von Laubholz	110
5.2	Leime	111
5.2.1	Glutin-Leime	112
5.2.2	Blutalbumin-Leime	112
5.2.3	Kasein-Leime	113
5.2.4	Polymerisations-Kunstharzleime	114
5.2.5	Polykondensations-Kunstharzleime	114
5.2.5.1	Harnstoff-Formaldehyd-Kunstharzleime	114
5.2.5.2	Phenol- Formaldehyd-Kunstharzleime	115
5.2.5.3	Melamin-Formaldehyd-Kunstharzleime	115
5.2.5.4	Polyurethan-Formaldehyd-Kunstharzleime	116
5.2.5.5	Epoxidharze	
5.3	Lamellenstöße	116
5.4	ökologische Aspekte	117
6.0	Tragwerksentwicklung	118
7.0	Zusammenfassung	118
8.0	Alphabetisches Literaturverzeichnis	120
9.0	Abbildungsverzeichnis	127
10.0	Anmerkungen	134

Verfasser :

Dipl.- Ing. Christian Müller
 Sophie-Charlottenstr.37
 14059 Berlin

Dank

Zuerst gilt mein Dank Herrn Prof. Büttner, der mich bei Beginn meiner Assistenzzeit in Weimar dazu ermunterte und als anregender kritischer Begleiter meine Arbeit verfolgte. Herrn Dr. Schmidt verdanke ich die rege Unterstützung als Berater und den zeitlichen Freiraum, den ich meiner Arbeit widmen konnte. Ebenso bekam ich mancherlei Anregung aus der Sicht der Denkmalpflege durch Herrn Prof. Wirth.

Bei den vielen Reisen und Exkursionen wurde ich vor Ort in der Regel so hilfreich und zeitaufwendig in meinen Recherchen unterstützt, daß ich mich hiermit herzlich bedanken möchte.

Da einige Objekte auch der Inhalt von Tragwerksanalysen durch Studenten waren, kam es hierbei oft zu einer gegenseitig befruchtenden Zusammenarbeit.

Für die mühevolle, zeitaufwendige zeichnerische Unterstützung möchte ich ausdrücklich Susann Fricke danken. Für die letzte Korrektur danke ich meiner Frau Nicola und meinem Vater Bodo Müller.

Helfer vor Ort:

Hans Dieter Rebsamen, Denkmalpflege Zürich
Reg. , Baudirektor Hans Kolb, Stuttgart
Frau Teubner Treese, Denkmalpflege Hagen
Prof. Dr.-Ing. Fritz Wenzel, Universität Karlsruhe
Jack Candy, Southampton
Herr Hoffmann, BAM Berlin
Dr. Holger Conrad, Studiengemeinschaft Holz
Klaus Hetzer, Schwerin
Hans Weizenhöfer, Deutsche Bahn, Stuttgart
Prof. Julius Natterer, Lausanne,
André Winter, Staatshochbauamt Wilhelmshaven
Werner Gaul, Görlitz
Herr Vogt, Jena
Fau Kaps und Frau Fenske, Staßfurt
Herr Befeld, Hagenbecks Tierpark, Hamburg
Herr Gerike, Bauamt Flensburg
Herr Rolf Schmidt, Weimar
Herr und Frau Ohnesorge (Urenkelin Otto Hetzer Sen.)

Studenten der Tragwerksanalyse:

Isabel Bindan
Jörg Nonnig
Kathrin Bleul
Simone Wagner

Vorwort

Bereits in meiner Studienzeit stellte ich oft bedauernd fest, daß das alte Berufsbild des „Baumeisters“, der sich sowohl für alle architektonischen und wirtschaftlichen als auch für die ingenieurtechnischen Fragen zuständig sah, heute leider der Vergangenheit angehört. In unserer Zeit der immer stärker zunehmenden Spezialisierung, die besonders im Bauwesen mit der wissenschaftlichen Erforschung der Statik und des Stahlbetons einsetzte, entwickelte sich aus dem mehr künstlerisch begabten Baumeister der Architekt, während die mehr mathematisch, technisch veranlagten Fachleute zu Ingenieuren wurden.

Aber trotz dieser verschiedenen Ausrichtungen und Sichtweisen arbeiten Architekten und Bauingenieure noch immer an ein- und demselben Bauwerk, das als gemeinschaftliches Werk in Erscheinung tritt. Diese Schnittstelle läßt sich aber nur durch eine intensive, auf Verständnis beruhende Zusammenarbeit überbrücken.

Besonders der Entwurf eines geeigneten Tragwerkes, das sowohl den gestalterischen und funktionellen Ansprüchen des Architekten und seines Bauherrn als auch den statisch-konstruktiven Erfordernissen aus der Sicht des Ingenieurs gerecht werden soll, ist Hauptinhalt dieser Zusammenarbeit. Daher habe ich mich in den vergangenen Jahren besonders unter diesem Gesichtspunkt mit der Tragwerksplanung beschäftigt. So konnte ich als Assistent von Prof. Pichler an der Hochschule für bildende Künste in Hamburg und besonders während meiner Tätigkeit an der Hochschule für Architektur und Bauwesen in Weimar am Lehrstuhl Statik für Architekten unter der Leitung von Dr. Schmidt viele Erfahrungen in dieser Richtung sammeln .

Für mich als lehrenden und in der Praxis tätigen Bauingenieur geht es darum, verschiedene Wege in der Vermittlung der Tragwerkslehre zu erproben. Hierbei ist das Tragverhalten sowohl auf mathematischem Wege als auch aus der Anschauung an Hand von Tragmodellen zu erklären. Nach der Vermittlung der statischen Grundlagen im Bereich der Kräfte- und Festigkeitslehre muß der Student aber zu einer selbständigen Arbeitsweise am Beispiel einer Tragwerksanalyse gebauter Objekte herangeführt werden.

Aus der Erfahrung, daß Rechen-Algorithmen schnell wieder vergessen werden, dagegen aber vor allem das visuelle Erfassen von Tragstrukturen und -verhalten einen lebenslangen Lernprozeß auslöst, gilt es, dafür ausreichende Grundlagen zu schaffen.

Gleiches gilt ebenso für die Ausbildung von Bauingenieuren, welche ein Mindestmaß an Architekturverständnis auch in baugeschichtlichen Belangen im Rahmen ihres Studiums erhalten sollten, um eine ausreichende Basis für den gemeinsamen Arbeitsprozeß zu erhalten. Aus diesem Grund soll in der vorliegenden Arbeit die Entwicklung des Holzleimbau unter beiden - architektonischen und ingenieurmäßigen - Aspekten aufgezeigt werden.

1. Das Thema

1.1 Zielstellung und Eingrenzung

Die Idee zu dieser Arbeit über die Entwicklung des Holzleimbaues entstand während meiner Tätigkeit in Weimar, bei der ich auf einen in dieser Stadt kaum zu erwartenden Pionier des Ingenieurholzbaues stieß : Otto Hetzer. Obwohl die Otto Hetzer AG bereits in den zwanziger Jahren in Konkurs ging, ist er als maßgebender Begründer des Holzleimbaues noch nicht vergessen .

Da sich bei meinen Recherchen keine zusammenhängende Darstellung seines Lebenswerkes und der durch die Otto Hetzer AG entstandenen Bauwerke auffinden ließ, bot sich die Möglichkeit, dieses im Rahmen der Gesamtentwicklung des Holzleimbaues nachzuholen.

So stellt die systematische Darstellung und Auswertung der Tragwerksentwicklungen am Beispiel von Dächern, Bahnsteigen, Hallen, Kuppeln und Brücken gleichsam den roten Faden dieser Arbeit dar. Bewertet werden sollen sie unter architektonischen und ingenieurmäßigen Gesichtspunkten. Zeitlich unterteilt sich die Arbeit in zwei Teile, da besonders der 1. Weltkrieg mit seinen wirtschaftlichen Folgeproblemen einen merklichen Einschnitt in der Entwicklung darstellt. Als Abschluß dient ein Ausblick, in dem versucht wird, die zukünftige Entwicklung aufzuzeigen.

1.1.1 Ingenieurmäßige Aspekte

Hier besteht die Gefahr, bei einem Vergleich auf der Grundlage geometrisch wachsender Parameter vereinfachend zu werden. Diese Art der Fortschrittsgläubigkeit scheint zwar etwas veraltet zu sein. Als ein Gesichtspunkt unter vielen soll der Vergleich von Spannweiten, Stichhöhen, Querschnitten und Materialeinsatz untereinander die Übersicht und die Bewertung etwas erleichtern. Dennoch wird ein derartiger Vergleich immer mit dem Vorbehalt belastet sein, daß die Randbedingungen wie Schneelasten, Gründungsverhältnisse und Baukosten sich kaum angemessen berücksichtigen lassen, wodurch eine wissenschaftliche Auswertung erschwert wird.

Dennoch lassen sich aus den Vergleichen gewisse Tendenzen ableiten, die dem Planer - ob Architekt oder Ingenieur - eine ausreichende Grundlage für die Beurteilung eigener Projekte vermitteln können.

Darüber hinaus soll auch die technische Entwicklung der Leimstoffe, die Verarbeitungstechnologie bei der Herstellung und die Veränderung in den Normen für die zulässigen Festigkeiten aufgezeigt werden.

1.1.2. Architektonische Aspekte

Die Bewertung eines Tragwerkes unter architektonischem Blickwinkel kann natürlich sehr leicht subjektiv ausfallen und unterliegt in jedem Falle den Einflüssen des Zeitgeistes.

So schrieb z.B. Bernhard Hötger 1920 auf die Holzbalken des im Volksmund "Cafe Verrückt " genannten Cafe's in Worpsswede : "Wer's mag, der mag's mögen, wer's nicht mag, der mag's nicht mögen".

Dennoch lassen sich in jedem Fall bestimmte erzielte Raumwirkungen beschreiben. Ein entscheidender Aspekt ist für mich auch, inwieweit der Architekt die Chancen eines besonderen Tragwerkes ausnutzt und als wichtiges gestalterisches Element seiner Architektur einsetzt. Oft aber muß der Baustoff erst von dem Makel des „billigen“ Materials befreit werden, der ansonsten durch Verkleidung zu verhüllen ist. Interessant hierbei ist, daß in der derzeitigen Diskussion um preiswertes Bauen gerade der Baustoff Holz wieder stärker eingesetzt wird, was wiederum zeigt, wie die Einschätzung eines Materials durchaus berechtigt war und ist.

1.2 Definitionen und Begriffsbestimmungen

Bauwerk:	Funktional, gestalterisch relativ unabhängiger Teil gebauter Umwelt
Tragwerk:	Der tragende Teil des Bauwerks
Tragstruktur:	Abstrahiertes Tragmodell des Tragwerkes
Hülle:	Nicht tragender Raumabschluß, der das Tragwerk zum Bauwerk macht
Statisches System:	Entmaterialisierte Darstellung des Tragwerkes als Schwerachsen-system mit allen Lagerungen und Kopplungen als Grundlage der statischen Berechnung
Stützzlinie:	Ein nach der idealen Stützzlinie geformtes Tragwerk trägt biegungsfrei (momentenfrei) nur über Druckkräfte in einem bestimmten Lastfall (meist nur im symmetrischen Lastfall von Eigengewicht und Schnee)
Kettenlinie:	Form einer Kette, die sich in einem bestimmten Lastfall ausbildet, da nur Zugkräfte aufgenommen werden können. Als Umkehrung der Stützzlinie dient sie zur Formfindung der idealen Stützzlinie. ¹

2.0 Anfänge und Entwicklung des Holzleimbaues bis zum 1. Weltkrieg

2.1 Historischer Überblick

Die Entwicklung der hölzernen Tragwerke hängt unmittelbar mit dem Verständnis des Tragverhaltens der Konstruktion - seiner Statik - und der Kenntnis von der Festigkeit des Materials zusammen. Je größer die zu überbrückenden Spannweiten waren, um so optimierter mußten diese Tragwerke werden.

Da erst am Ende des 18. Jahrhunderts Eisen als Baumaterial in ausreichender Menge zur Verfügung stand, wurden bis dahin alle Konstruktionen hauptsächlich in Holz, Lehm oder Stein ausgeführt. Materialgerecht eingesetzt eignete sich Stein nur in vorwiegend druckbeanspruchten Tragwerken wie zum Beispiel Wänden und Bogentragwerken. Holz dagegen trägt sowohl auf Druck als auch auf Zug und Biegung und bot daher Verwendung für sehr unterschiedliche Tragwerke.

Das einfachste Tragwerk - der Balken -, als rein biegebeanspruchtes Bauteil, reichte über lange Zeit aus und konnte den größeren Spannweiten und Lasten durch Reduzierung der Abstände oder Vergrößerung der Querschnitte angepaßt werden. Die konstruktive Verbindung zweier Hölzer zu einem gemeinsam wirkenden Querschnitt stellt dabei einen ersten Entwicklungsschritt zur Optimierung des Tragverhaltens bei gleichzeitiger Minimierung des Materialeinsatzes dar.

$$\begin{aligned}\text{Steifigkeit} \quad & b \times (2 \times h)^3 / 12 \gg b \times 2 \times h^3 / 12 = I^o \\ & \Sigma I = 4 \times I^o \gg I^o\end{aligned}$$

Die zusammengesetzten Balken im Rathaussaal in Amsterdam mit 14,35m Spannweite sind hierfür ein besonderes Beispiel. (Abb.1)

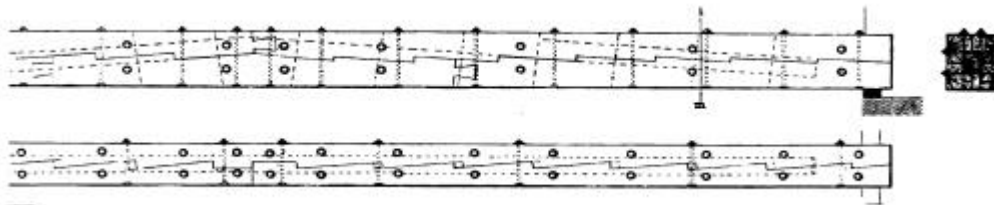


Abb 1. Zusammengesetzter Balken im Rathaus von Amsterdam, 14,35m Spannweite

Nachdem derartige Maßnahmen nicht ausreichten, griff man zu Hänge-, Spreng- und Hängesprengwerken, welche ihre Lasten hauptsächlich über Normalkräfte wesentlich effizienter abtragen konnten. Sie finden schon seit frühester Zeit in Dach- und Brückenkonstruktionen Verwendung, wobei von Anfang an die Art der Holzverbindungen und ihre Festigkeiten das Hauptproblem darstellten. Sowohl die große Nachgiebigkeit als auch die Feuchtigkeit und das Verwerfen der Hölzer konnten diese Verbindungspunkte zum Versagen bringen.

Diese Tragwerke wurden bis ins 18. Jahrhundert aufgrund von handwerklichen, überlieferten Erfahrungen und Versuchen immer weiterentwickelt, wie wir sie zum Beispiel 1726 in dem Buch über den Brückenbau von Jacob Leuthold (1647-1727) systematisch dargestellt finden². Neben diesen Tragwerken gab es aber schon sehr früh die ersten hölzernen Bogenkonstruktionen wie zum Beispiel die Brücke über die Cismone von Andrea Palladio, die er 1570 in seinen 4 Büchern zur Architektur veröffentlichte⁴. Darin entwickelt er aus dem geraden Fachwerkträger eine Bogenbrücke mit doppelten diagonalen und vertikalen Hängepfosten. Das günstige Bogentragverhalten über Druckkräfte wird durch diese biegesteife Ausbildung auch für Biegebeanspruchung aus einseitigen Lasten ausgebildet. (Abb.3)

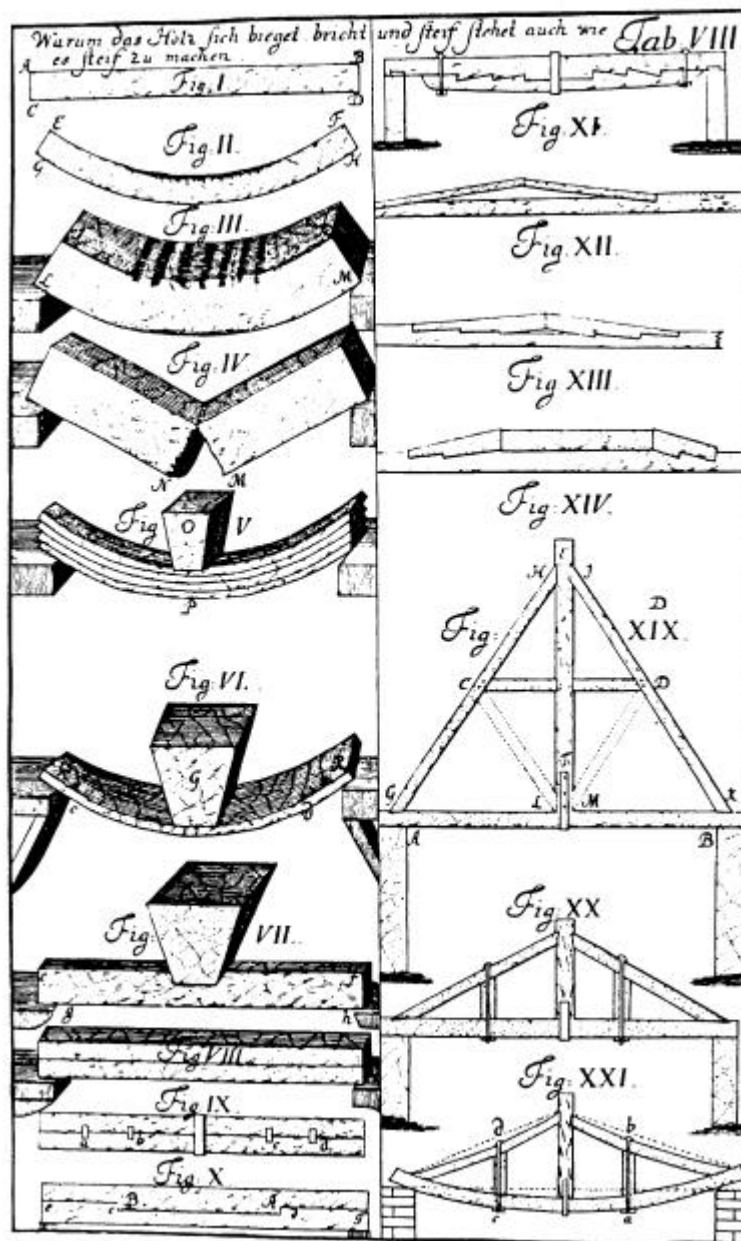


Abb 2. Übersichtstafel "Warum das Holz sich bieget, bricht und steif steht, auch wie es steif zu machen ist."

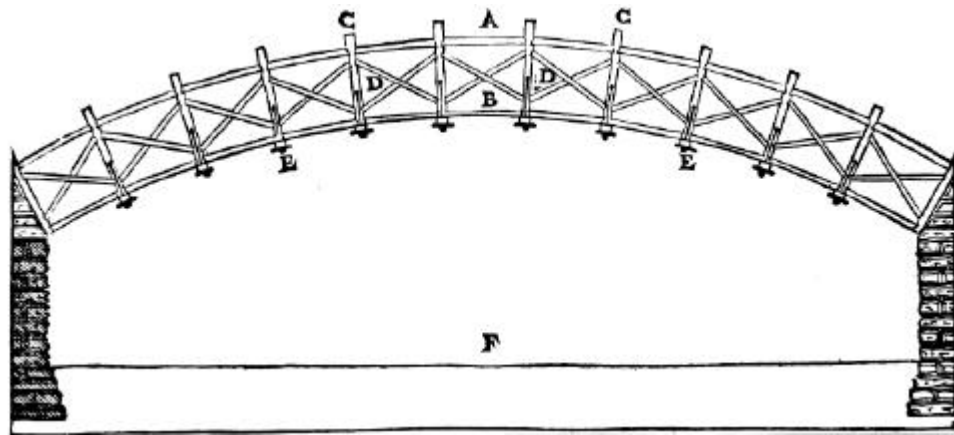


Abb 3. Brücke über die Cismone von Andrea Palladio, 1570

Rechnerisch erfaßbar wurden all diese Tragwerke erst mit Entwicklung der Baustatik im 19. Jahrhundert, wobei Louis Marie Henri Navier (1785-1836) auf der Grundlage der Arbeiten von Coulomb, Bernoulli und Euler zum Begründer der Baustatik wurde.⁵

2.2 Vorläufer des Holzleimbaues

Bereits 1561 machte Philibert de l'Orme (1515-1577) in seinem Buch "Nouvelles Inventiones..." die Erfindung eines hölzernen bogenförmigen Bohlenbinders bekannt. Dieser setzte sich aus senkrechtstehenden, 1,3 Meter langen Bohlen zusammen, welche an den Enden radial abgesägt waren und zwei- oder dreilagig mit versetzten Stößen mittels Holznägeln verbunden wurden. Bei Bedarf wurden die Längsseiten der Bohlen bogenförmig zugeschnitten. Die einzelnen Bohlenbinder standen im Abstand von etwa einem Meter und wurden durch verkeilte Querriegel gegen seitliches Ausknicken gehalten. Neben der stützenfreien Überspannung berichtet de l'Orme auch von dem wesentlich geringeren Materialverbrauch gegenüber alten Dachkonstruktionen, welcher zum Beispiel bei dem Neuaufbau des Daches des Schlosses Limours nur ein Viertel betragen habe. Über die Verwendung bei Dachstühlen und Scheunen mit bis zu 15 m Spannweite hinaus entwarf er eine Basilika mit einer Spannweite von 48,75 Meter.(Abb.8)

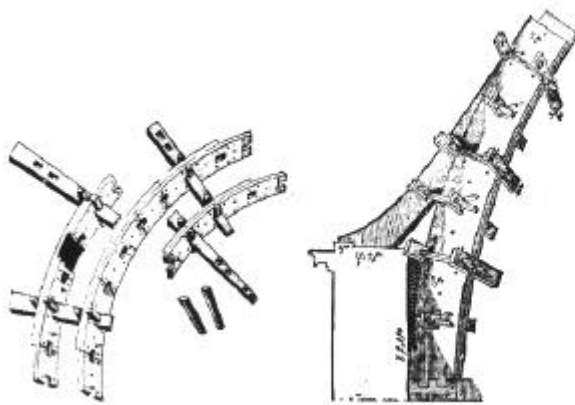


Abb.4.a Bohlenbogenbinderkonstruktion nach Philibert de l'Orme



Abb.4.b Philibert de l'Orme



Abb.5. Hal au blé, Bau von Nicolas Le Camus de Mézières.

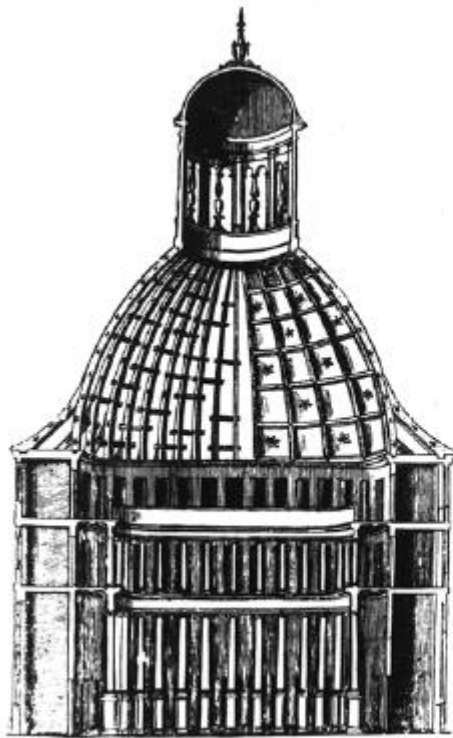


Abb.6.a Entwurf zum Wiederaufbau des Nonnenklosters von Philibert de l'Orme

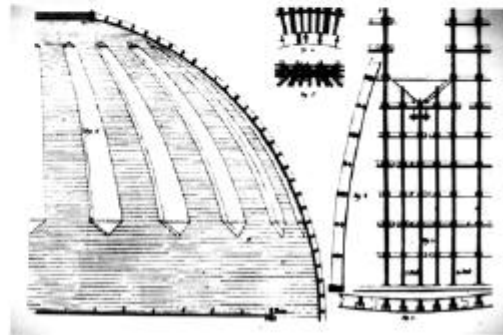


Abb.6.b Hal au blé, Konstruktion der Holzkuppel

Für den Wiederaufbau des Nonnenklosters am Montmatre in Paris entwarf er einen Kuppelbau mit 50 bis 60 Meter Spannweite, der 200 Jahre später Vorbild zur Überdachung der Getreidehalle in Paris werden sollte, deren Kuppel durch Bohlenbinder radial überspannt wurde. Auch Brücken mit Spannweiten von 200 bis 400 Meter meinte Philibert de l'Orme damit bauen zu können.^{6 7}

Nach einigen kleineren Bauwerken unter Verwendung von Bohlenbindern gelang der große Durchbruch erst bei dem Wettbewerb zur Überdachung der Getreidehalle (Halle de Blé) in Paris. Hier konkurrierten die Architekten Legrand und Molinos mit ihrem Kuppelentwurf nach dem de l'Orme'schen Prinzip gegen die steinerne Kuppel der Architekten der Halle de Blé le Camus de Mezieres, J.-D. Antoine und Rondolet und gegen die gußeiserne Kuppel von Belangers. Das Besondere dieser Kuppel waren ihre 24 radial verlaufenden Fensterbänder, welche nicht nur auf der Kuppel auflagen, sondern die radiale Tragwirkung der Kuppel sogar durchtrennten, so daß die zusammengefaßten Bohlenbinder hauptsächlich statisch als einzelne Bögen wirkten, deren horizontale Auflagerkraft durch die unteren Ringe aufgenommen wurde. Die Kuppel brannte 1802 ab und wurde durch eine gußeiserne Kuppel von Belangers ersetzt. Der Bau dieser Bohlenbinder-Kuppel mit 41 Meter Spannweite im Jahr 1783 führte zu einer Reihe nachfolgender Projekte auch in Deutschland.

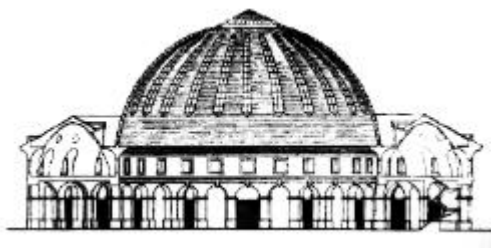


Abb.7. Hal au blé nach Legrand und Molinos, Schnitt, 1783, 41m Spannweite

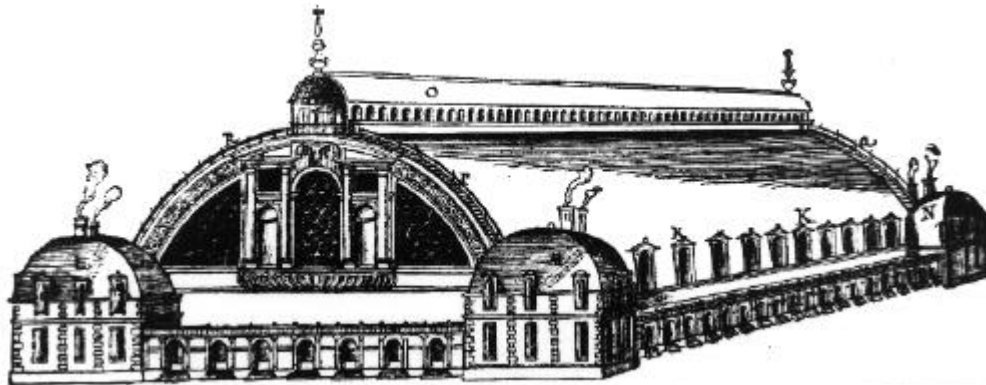


Abb.8. Entwurf einer Basilika von Philibert de l'Orme

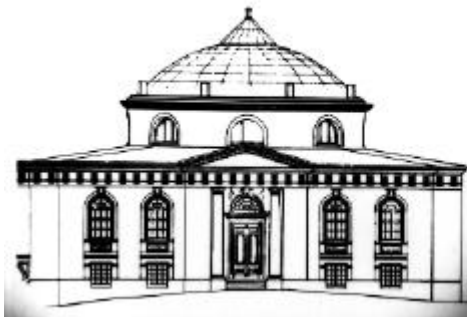


Abb.9.a Anatomiegebäude der Königlichen Tierarzeneischule in Berlin, Ansicht

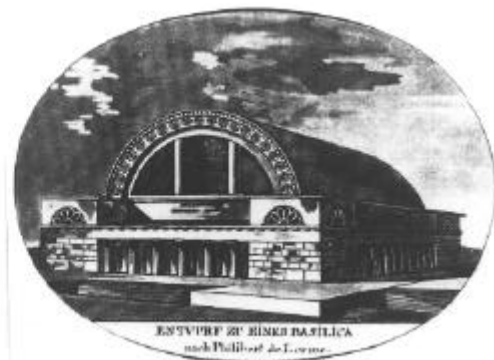


Abb.9.b Entwurf einer Basilika nach Philibert de l'Orme von David Gilly



Abb.10. Anatomiegebäude der Königl. Tierarzeneischule in Berlin, 1789, Innenansicht

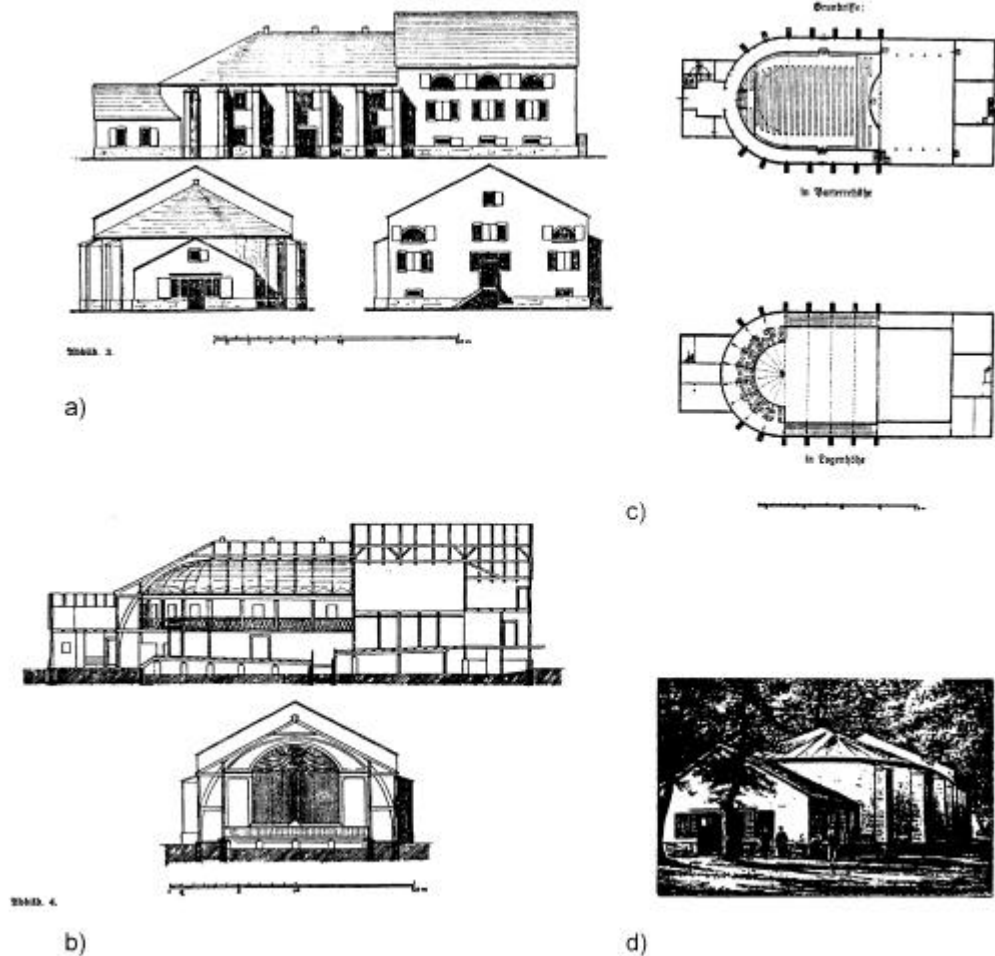


Abb.11. Theater Bad Lauchstädt, erbaut 1802 ,Zustand nach der Erneuerung 1906
a) Ansichten, b) Längs- und Querschnitte, c) Grundriß in Logenhöhe,
d) Grundriß in Parterrehöhe

Bereits 1787-1789 baute Carl Gotthard Langhans für die königliche Tierarzeneischule eine hölzerne Kuppel mit 16 Meter Spannweite. David Gilly (1748-1808) beschreibt 1797 in seiner Schrift " Über die Erfindung, Konstruktion und Vorteile der Bohlendächer" die bis dahin entstandenen Bauwerke, wie zum Beispiel das Exerzierhaus in der Keiblststraße in Berlin.⁸ Angeregt durch diese Bauten, entwarf 1802 der Hofbauinspektor Heinrich Gentz aus Berlin auf Betreiben Goethes das Lauchstädter Theater unter Verwendung zweilagiger Bohlenbinder mit 16,5m Spannweite. Dieses heute noch erhaltene Bauwerk zeigte auch deutlich die Mängel der de l'Orme'schen Bauweise. Die im Abstand von 3 m stehenden Binder hatten entsprechend große horizontale Auflagerkräfte, welche schon in den ersten Jahrzehnten nach ihrem Einbau zu starken Verformungen der Widerlager und einem Durchhängen der Binder führten.

Ebenso verzichtete Gentz auf eine Ausbildung mit Querriegeln, wodurch die Stabilisierung gegen Biegedrillknicken (Kippen) sehr verschlechtert wurde. Dies machte zuerst eine Verstärkung durch Strebepfeiler und dann 1906 die Erneuerung der Widerlager und die Verstärkung des Bogens auf drei Lagen erforderlich.^{9 10 11}

Die Nachteile dieser Bauweise liegen in der zeitaufwendigen und verlustreichen Herstellung der Bretter und ihrer zur Hälfte geschwächten Biegesteifigkeit an den Stößen, welche sich bei ständiger Biegebeanspruchung besonders bemerkbar machen. Damit mußte jede Abweichung des Bogens von der idealen Stützlinie unter Eigengewicht zu starken Verformungen führen.

Auch in Fabrikgebäuden, wie zum Beispiel einer Eisenhütte in Peitz, fanden 1809/10 Bohlenbinder Verwendung.¹² Karl Friedrich Schinkel baute 1831 eine Reithalle im Park des Prinzen Albrecht nach de l'Orme'scher Bauweise.

Die größte Kuppel in Deutschland mit einer Spannweite von 33,5 m entwarf Georg Moller 1822-27 in Darmstadt für die Ludwigskirche. Im Gegensatz zu der Halle de blé ordnete er einfache und doppelte radiale Ringbalken aus Eichenholz zur Aufnahme der Ringdruck- und Zugkräfte an, wodurch ein räumliches Tragverhalten ermöglicht wurde. Die Ludwigskirche wurde Ende des 2. Weltkrieges ein Opfer der Brandbomben.¹³

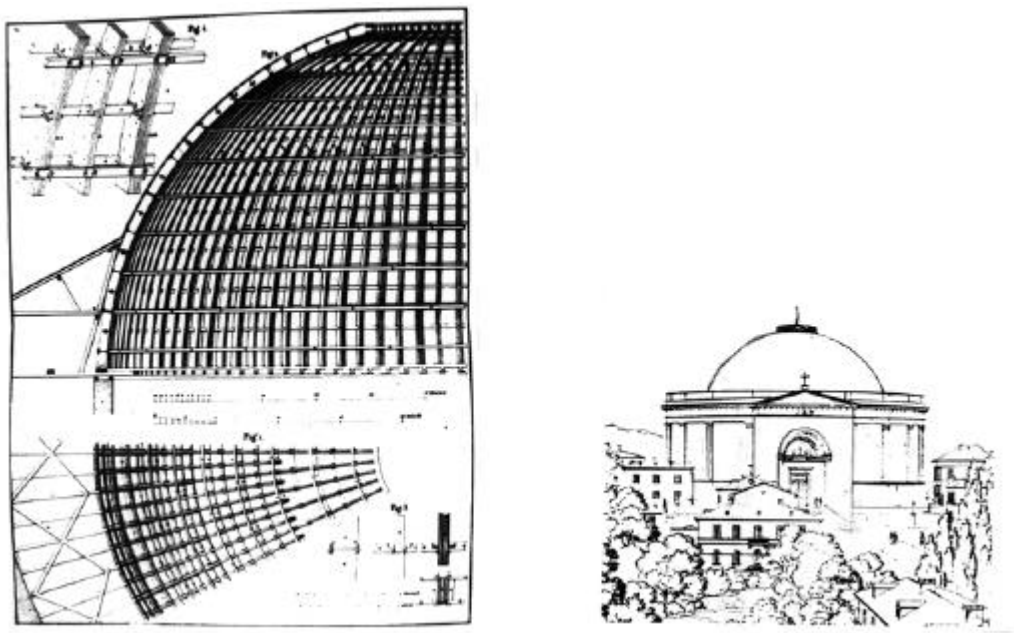


Abb.12. Ludwigskirche in Darmstadt nach Moller, Ansicht und Kuppelkonstruktion mit 33,5m Spannweite, erbaut 1827

Der de l'Orm'sche Bohlenbinder fand dann um 1904 seine Übertragung ins Räumliche durch die Weiterentwicklung des Merseburger Stadtbaurates Fritz Zollinger (1880-1945), welcher die zweilagigen Bohlenbinder zu einem rautenförmigen, gekrümmten Flächentragwerk aufspreizte. Die einzelnen Brettlamellen paßten sich mit ihrer Oberkante der Krümmung an. An den geschmiegtten Stößen, an denen jeweils eine Lamelle durchgeht, werden sie mit einem Bolzen verschraubt. (s.Abb.13.a) Aufgrund der räumlichen Kraftzerlegung wäre hier ein biegesteifer Anschluß erforderlich, welcher nicht erreicht wird und daher bei großen Spannweiten zu starken Verformungen führt.^{14 15}

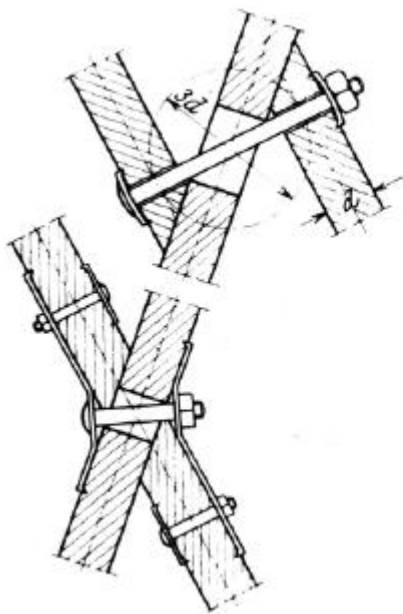


Abb.13.a Knotenpunkt der Zollinger-Bauweise



Abb.13.b. Bauzustand eines Zollinger-Daches

Neben dem senkrecht stehenden, vielfach gestoßenen Bohlenbinder sind die ersten horizontal liegenden "unverleimten Brettschichtträger" seit der Brücke über die Limmat bei Wittingen in der Schweiz nachweisbar. Der Zimmermeister Hans Ulrich Grubenmann (1709-83) errichtete 1764-66 zusammen mit seinem Sohn diese Brücke. Die zwei parallelen 7-lagigen Bogenträger, zwischen denen die Fahrbahn teils aufgeständert teils abgehängt verläuft, hatten eine Spannweite von 61 Meter. In Fahrbahn- und Deckenebene befanden sich die starken Aussteifungsverbände. Das Besondere dieser Brücke waren die kraftschlüssig miteinander verzahnten und verbolzten Balken, welche so als gemeinsamer Träger dem Bogen eine hohe Steifigkeit gaben. Die Brücke ging am 17.Juni 1799 auf Befehl des französischen Generals Massena in Flammen auf.(Abb.14)¹⁶

Für die Rheinbrücke bei Schaffhausen schlug Grubenmann bereits 1755 eine ähnliche Konstruktion mit 119 m Spannweite vor, welche aber dann unter Verwendung eines vorhandenen Flußpfeilers als zweifeldrige Brücke ausgeführt wurde.(Abb. 15-16)

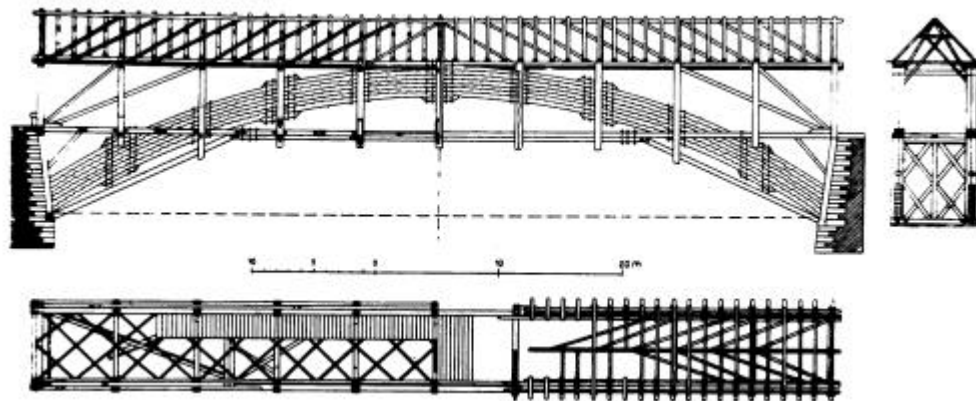


Abb.14. Brücke bei Wettingen, 61m Spannweite, erbaut 1766, Längs-, Querschnitt und Grundriß,

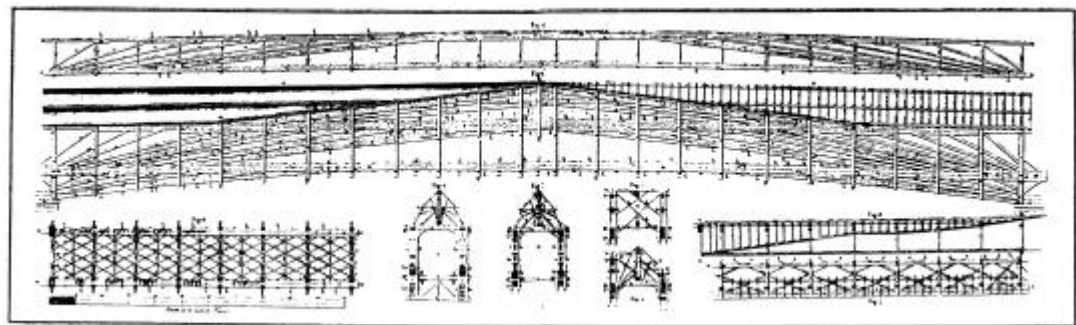


Abb.15. Entwurf der Brücke bei Schaffhausen von Grubenmann, 119m Spannweite, erbaut 1755,

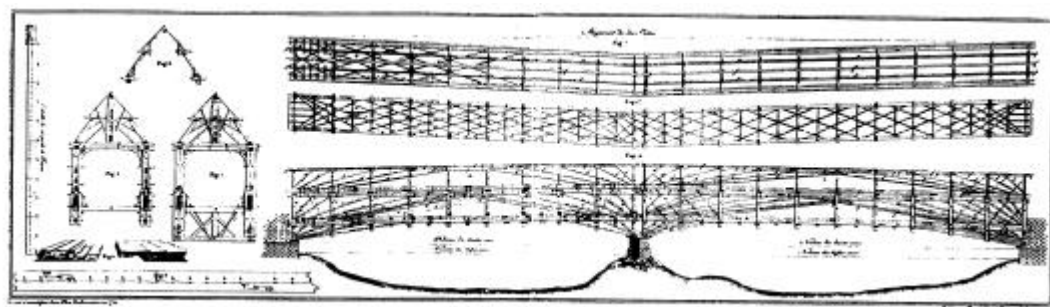


Abb.16. ausgeführter Entwurf der Brücke bei Schaffhausen von Grubenmann



Abb.17. Brücke über die Delaware bei Trenton v. Theodore Burr, 60m Spannweite, erbaut 1806

In Nordamerika baute Theodore Burr bereits 1804-06 eine Brücke mit einer Spannweite von ca 60 Meter über den Delaware, welche aus zwei Brettlamellen-Bögen mit abgehängter versteifter Fahrbahn bestand.¹⁷

Schon 1809 schlug Carl Friedrich Wiebeking in seinen "Beyträgen zur Brückenbaukunde" das Verleimen stark gekrümmter Bauhölzer vor: "Solche Verbindung der kleinen Bretter zu einem ganzen Baustücke, deren Stossfuge abwechseln müssen, kann ich nicht genug beym Bau der Bogenbrücken und bey Treppen, kurz überall, wo man stark gekrümmte Bauhölzer nöthig hat empfehlen. Die einzelnen Bretter lassen sich nämlich nach der Lehre, selbst in Windungen krümmen; folglich ist eine Zusammensetzung davon zu Bogenbrücken und Treppenträgern sehr geschickt".^{18 19}

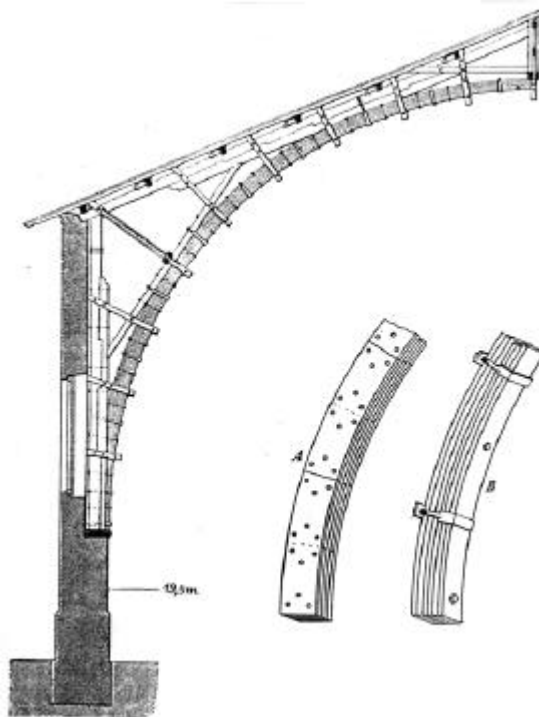


Abb.18. A: Bogen nach de l'Orme - ebene, hochkant gestellte und aufeinander genagelte Lamellen. B: Bogen nach Emy - flachgelegte und verbolzte Bretter.

Abb.19. Bogendach nach Emy, Gebogene Bretter 4,5x13cm, oben 5, unten 8 Stück

Den großen durchschlagenden Erfolg konnte aber erst der französische „Genie-Offizier“ Emy 1828 mit seiner Veröffentlichung "Description d'un nouveau system d'arcs " erlangen. Die flach aufeinanderliegenden Bohlen ließen sich leicht biegen und ersparten den aufwendigen verlustreichen Zuschnitt einzelner bogenförmiger Bretter. Die Verbindung der einzelnen Lagen erfolgte mit Hilfe von Spannbolzen und -zangen, die zu einer erhöhten Reibung und damit Kraftübertragung zwischen den Bohlen führen sollte. Sie ist nicht als kraftschlüssig anzusehen, so daß es bei Biegebeanspruchungen zu einer gegenseitigen Verschiebung kommen mußte. Dies und die ebenfalls geringe Steifigkeit der Emy'schen Bohlenbinder führte bei wechselnden Belastungen je nach Spannweite zu starken Verformungen. Um die Steifigkeit bei großen Spannweiten zu erhöhen, schlug er 1841 einen zwei- bzw. dreigeteilten Bogen vor, welcher sich am Auflager aufspreizt und zusätzlich ausgesteift ist. Hierdurch kann eine gewisse Einspannung erzielt werden, was zu einer Reduzierung der Verformungen führt.²⁰ Diese Konstruktion schlug er zum Beispiel für die Überdachung von Großhallen bis zu 100 Meter Spannweite vor.

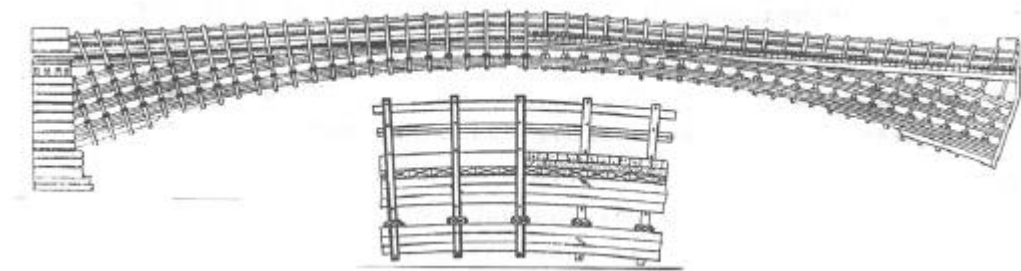


Abb.20. Entwurf einer Bogenbrücke von Emy.

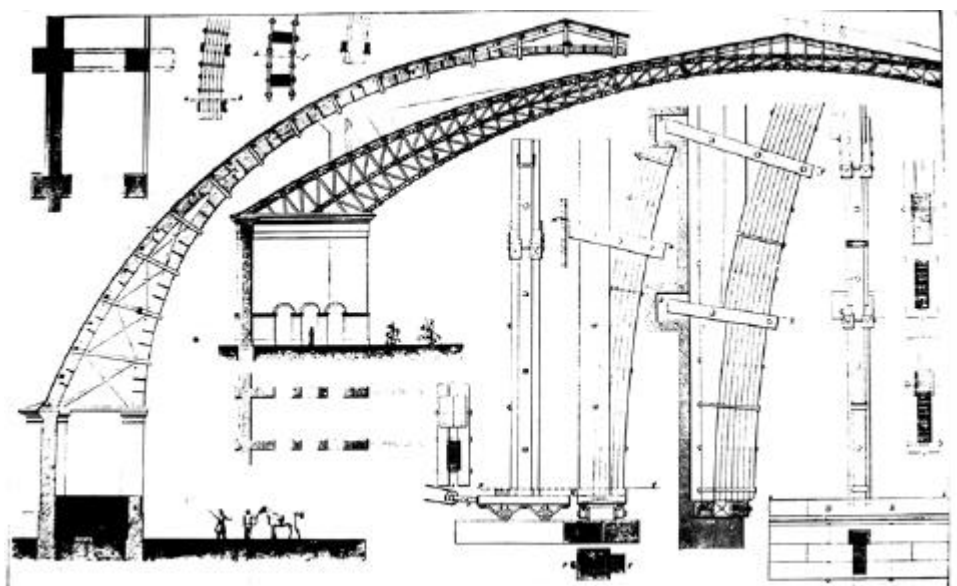


Abb.21. Entwürfe von Großhallen von Emy.

Eine ausführliche wissenschaftliche Untersuchung von Bogentragwerken veröffentlichte Paul Joseph Ardan 1847.²¹ In Belastungsversuchen kreisförmiger Bögen nach de l'Orme'scher und Emy'scher Bauweise verglich er unter verschiedenen Lastfällen die entstehenden Schubkräfte am Auflager, die Verformungen des Tragwerkes und die Bruchlast. Da die kreisförmige Bogenform nicht den idealen Stützlinien für Gleichstreckenlasten, Einzellasten im Scheitel- oder Viertelpunkt entspricht, kam es zu starken Biegebeanspruchungen, welche dann zum Versagen führte. Durch die teilweise elastische Verbindung der einzelnen Bogensegmente wurde die Biegesteifigkeit zusätzlich geschwächt. So schlug Ardan vor, den Emy'schen Bogen durch ein aufgesattelttes Fachwerk aus geraden Vollholzquerschnitten zu versteifen, wodurch besonders in den Ecken eine erhöhte Biegesteifigkeit erzielt werde.

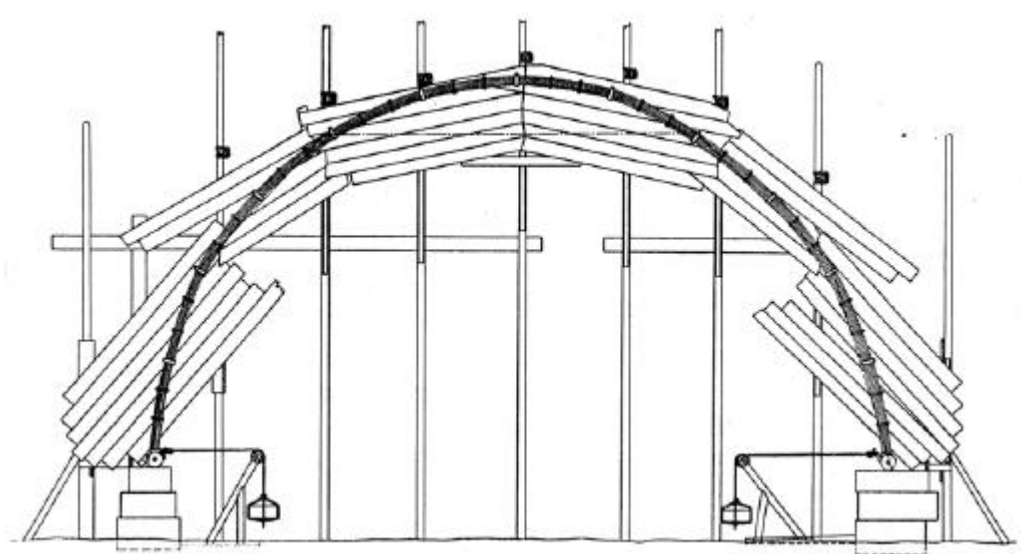


Abb.22. Auf- und Grundriß der Ardan'schen Versuchsvorrichtung für einen aus 5 Nadelholz-Brettlamellen Schienen (15x2,7cm) hergestellten Bogen von 12,12m äußerem Durchmesser. Die Schienen wurden durch 13 eiserne Bänder und durch 24 Schraubenbolzen - je 2 zwischen zwei Bändern - zusammengehalten. Die Stöße sind so angebracht worden, daß sie immer durch volles Holz der darüber und darunter befindlichen Schiene gedeckt werden.

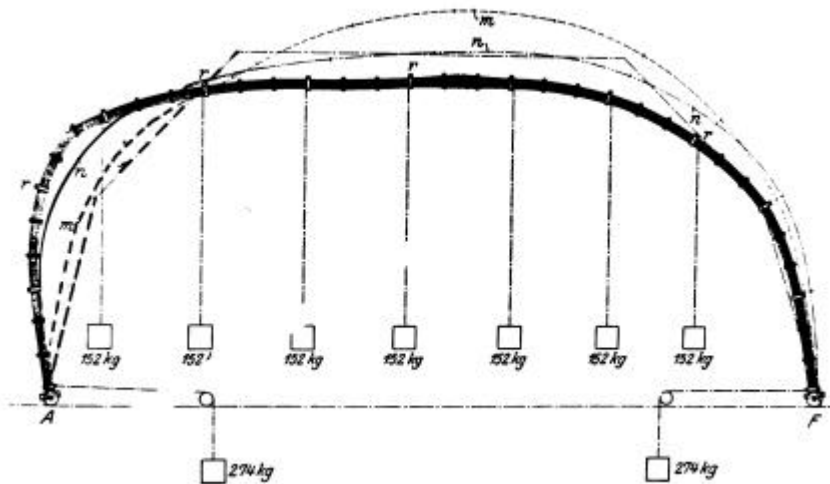


Abb.23. Versuch mit gleichförmig verteilten Gewichten. Die Kurve m-m gibt die unbelastete Bogenform vor Beginn, n-n eine Stunde nach Belastungsbeginn, und r-r im Bruchzustand wieder.

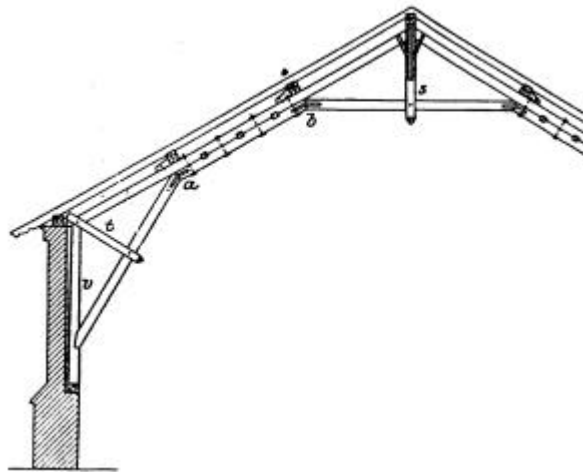


Abb.24. Verbessertes Sprengwerksdach nach Ardant

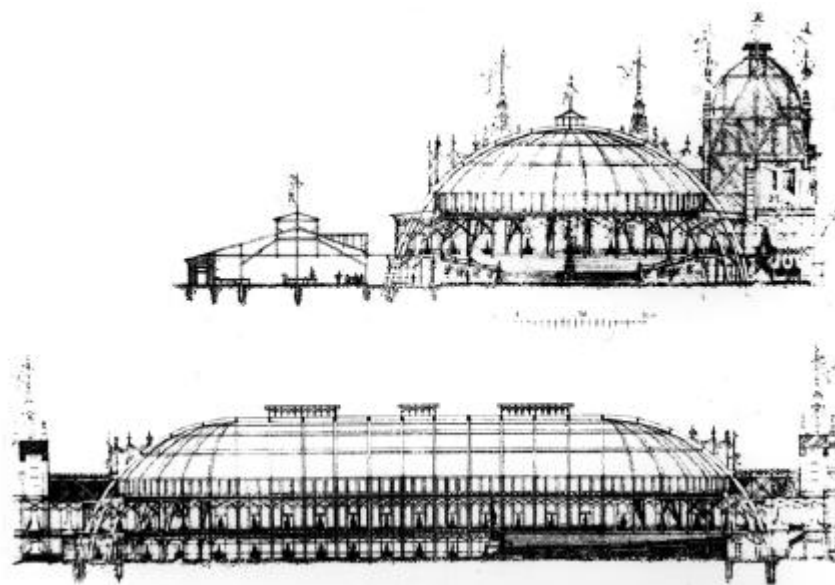


Abb.25. Festhalle für das vierte deutsche Sängerbundfest in Wien, 56m Spannweite, erbaut 1890, Querschnitt, Längsschnitt, Ansicht

Eine Kombination aus de l'Orme'scher und Emy'scher Bauweise stellt die Festhalle für das vierte deutsche Sängerbundfest 1890 in Wien dar. Die halbkreisförmigen Binder spannten über 56 m, wobei sie durch die seitlichen Galerien zusätzlich ausgesteift wurden. Der zusammengesetzte Rechteckquerschnitt bestand aus gebogenen Bohlen als Ober- und Untergurt und drei senkrecht bogenförmig zugeschnittenen Bohlen im Stegbereich mit 26 cm Breite und 51,5 cm Höhe.²²

Die Weiterentwicklung zu den verleimten Brettschichtholzkonstruktionen erfolgte aber nicht direkt, sondern nahm den Weg über den einfachen Einfeld-Träger.

Nach den zimmermannsmäßigen, konstruktiv ausgebildeten, zusammengesetzten Trägern entwickelte Louis Laves 1842 einen der Momentenlinie angepaßten Träger. Er schnitt einen Balken der Länge nach auf, spreizte ihn auseinander und fixierte diesen Abstand mit eingeklemmten Hölzern. Der erhöhte Querschnitt im mittleren Bereich verringerte damit die Spannungen im Träger. Da im geschlitzten Bereich keine Schubspannungen zwischen den Querschnittsteilen übertragen werden konnten, mußten die Auflagerpunkte hierfür ausgebildet werden. Diese stellten bei eintretender Nachgiebigkeit sogleich die Schwachpunkte des Trägers dar.²³

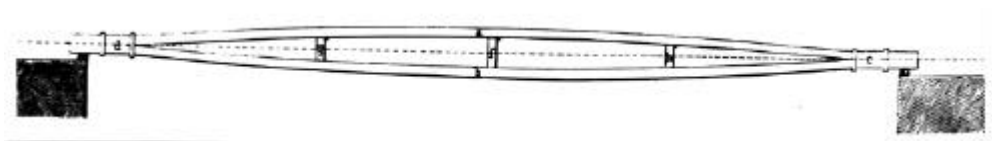


Abb.26. Beispiel eines Laves'schen Trägers für 10m Spannweite

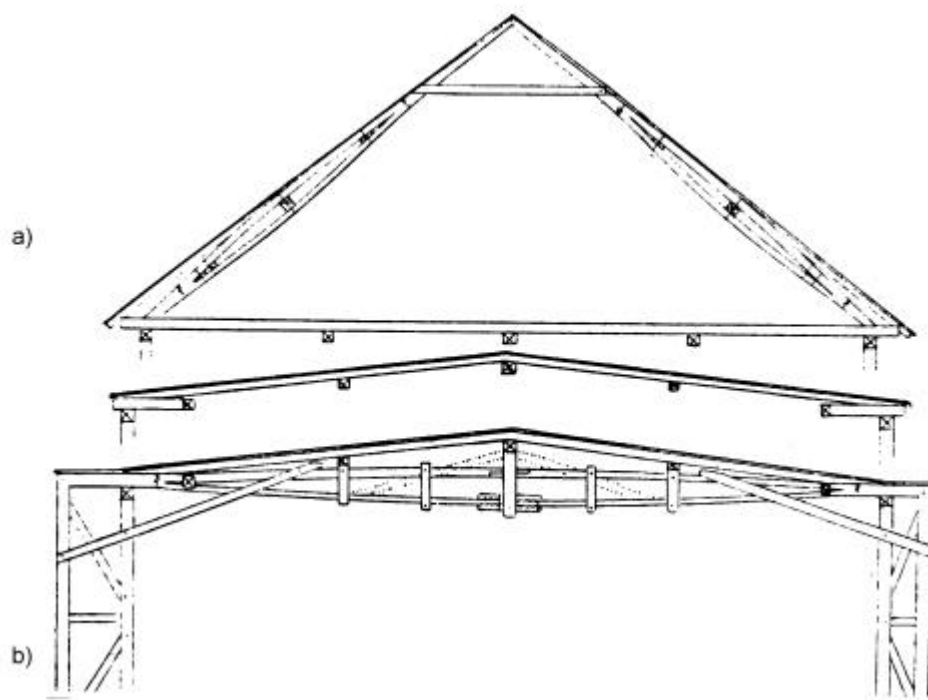


Abb.27. Anwendungsbeispiele des Laves'schen Trägers als a) Dreigelenkrahmen und als b) Biegeträger

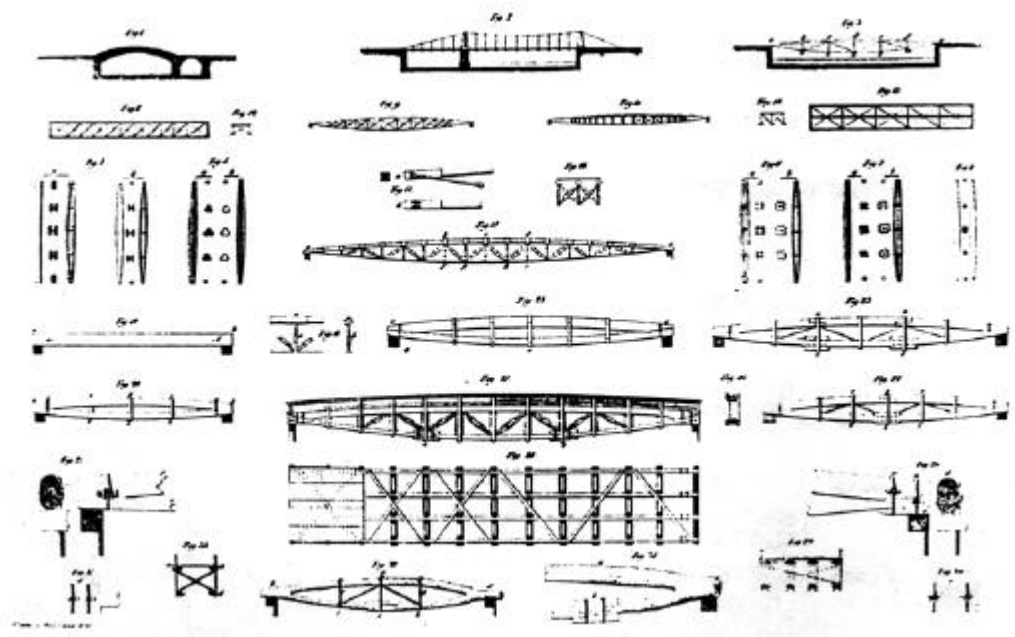


Abb.28.: Trägersysteme von Ludwig Laves

Zusammenfassend ist das Problem aller Tragwerksentwicklungen im Holzbau bis zu diesem Zeitpunkt in den besonders schwierigen und unbefriedigenden Verbindungsmitteln zu sehen. Im Bereich des Stahlbaues waren diese Probleme relativ gut und sicher durch Nieten zu beherrschen, bis die Schweißverbindungen sich durchsetzten.

Die Suche nach einem geeigneten Verbindungsmittel war damit der Ausgangspunkt der Entwicklungen Otto Hetzer's in Weimar, welcher den Holzleimbau zwar nicht erfand, ihn jedoch zur Anwendungsreife entwickelte.

Als erste verleimte Brett-schichtholz-Konstruktion gilt bis heute die Versammlungshalle des King Edward College in Southampton von 1860, welche als singuläres Bauwerk ohne bekannte direkte Nachfolger blieb.²⁴(s.Abb.29)

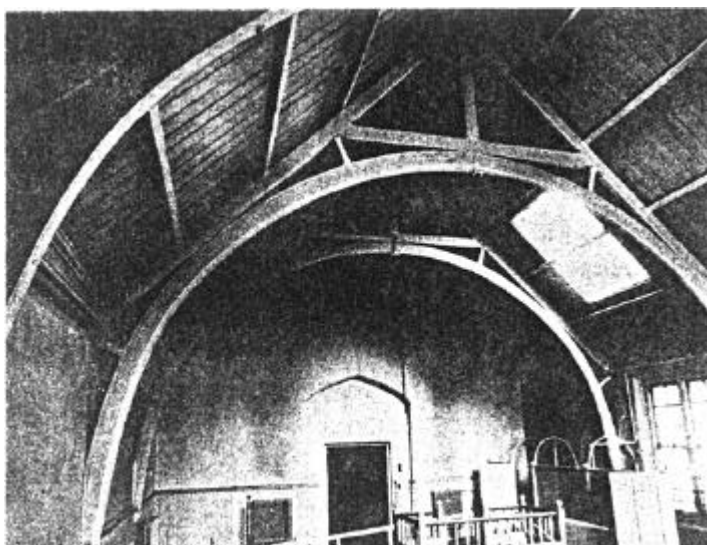


Abb.29.: Versammlungshalle des King Edward College in Southampton von 1860

2.3 Parallele Entwicklungen

Der Stephansche Bohlenbinder wurde um 1900 entwickelt. Er stellte eine Weiterentwicklung des de l'Ormeschen Bohlenbindes dar, der zur besseren Versteifung in Ober- und Untergurte mit aussteifenden Diagonalen aus Brettlamellen zusammengesetzt wurde. Er fand eine weite Verbreitung (s. auch 3.2.3)

Die Bauweise Melzer entstand Anfang des Jahrhunderts, um besonders große Spannweiten mit geringstem Materialaufwand zu überwinden. Hierfür wurden Stangen mit Querschnitten von 5x5cm verwendet, die durch Vertikal- und Diagonalstäbe ausgespreizt sind. Die Verbindung erfolgte mit Holzlaschen und Stahlstiften. Besonders im Luftschiffhallenbau und für die 60m hohen Antennenbauten bei München kam diese Bauweise zur Anwendung.

Die Firma Karl Tuchscherer aus Breslau erhielt 1913 die Patente für die Konstruktion von Bogenbindern mit ein oder zwei Gurten aus geraden Bohlen nach der de l'Ormeschen Bauweise.

2.4 Otto Hetzer - Persönliches und Werksgeschichte

Karl Friedrich Otto Hetzer wurde am 11.2.1846 in Kleinobringen geboren. Nach dem deutsch-französischen Krieg gründete er 1872 ein Dampfsägewerk und Zimmereigenschaft an der Bahnhofstraße (heute Thälmannstraße) in Weimar. Der wirtschaftliche Aufschwung der Stadt Weimar in der sogenannten Gründerzeit, ausgelöst vornehmlich durch die französischen Reparationszahlungen, führt zur raschen Expansion des Betriebes, der 1883 in "Weimarische Bau- und Parkettfußbodenfabrik" umbenannt wurde. Ab 1884 ist der Einsatz einer Dampfmaschine mit 16 PS bekannt.²⁵

Der wirtschaftliche Aufschwung des Unternehmens machte 1895 eine Verlegung an die Ettersburger Straße erforderlich, wo 1917 zu Spitzenzeiten bis zu 300 Arbeiter beschäftigt waren. Zur Kapitalaufstockung wurde der Betrieb am 28.1.1901 in eine Aktiengesellschaft umgewandelt : Otto Hetzer Holzpflege und Holzbearbeitung AG.

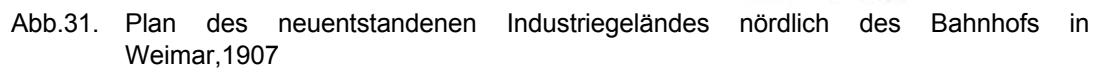
In der Zeit von 1891 bis 1910 erwarb Otto Hetzer 5 Deutsche Reichspatente, die im folgenden genauer beschrieben werden sollen. Otto Hetzer schied bereits 1910 aus dem Betrieb aus und verstarb am 18.1.1911.

Nach Jahren der Entwicklung von Holzleim-Konstruktionen hatte er zu diesem Zeitpunkt noch den technischen Durchbruch auf der Weltausstellung in Brüssel 1910 erleben können. Die dort erstellte Ausstellungshalle der Deutschen Reichsbahn setzte mit 43 Meter Spannweite für lange Zeit Maßstäbe.



Abb.30. Firmenbriefkopf mit Abbildung des Firmengeländes von 1921

Otto Hetzer hatte drei Söhne, von denen Otto Alfred Hetzer um 1921 als Direktor der Firma Christoph und Unmack in Niesky in der Lausitz tätig war.²⁷ Über die beiden anderen Söhne Karl Paul und Walter Ernst ist nichts Weiteres bekannt.



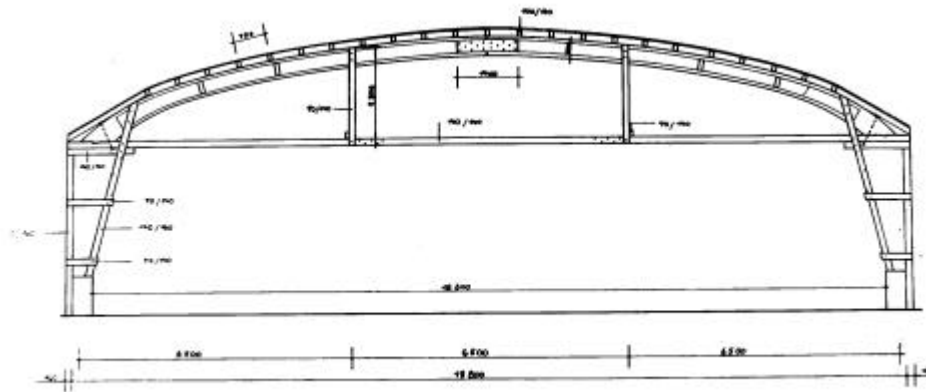


Abb.34. kleine Hetzerhalle auf dem Werksgelände in Weimar, 21m Spannweite, erbaut 1910



Abb.35. kleine Hetzerhalle, Innenansicht

2.5 Technische Entwicklung - Patente Otto Hetzers

Parallel zur Firmengeschichte stellte sich auch die Entwicklung der einzelnen Patente dar. Hetzer's erstes Patent - DRP No. 63018 - beschreibt die Konstruktion eines unterlüfteten Dielenfußbodens, welcher bei Bedarf im Falle von Schwinden in den vorhandenen Richtleisten nachträglich zusammengeschoben werden konnte.²⁸

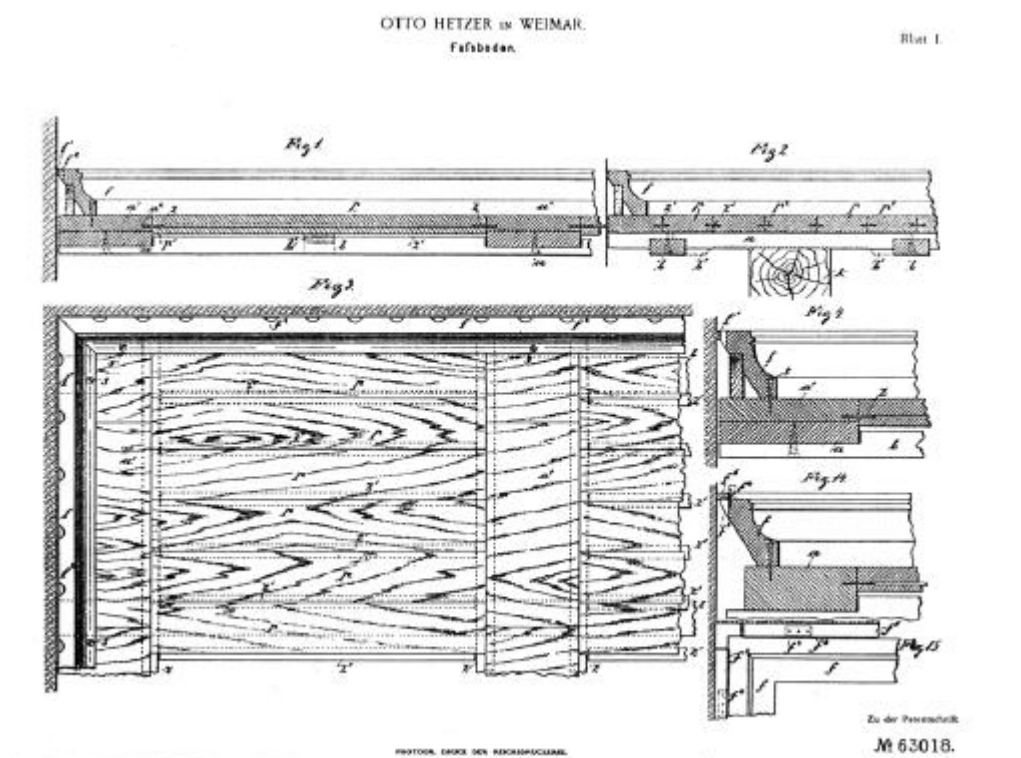


Abb.36. Patent No 63018, Fußboden, 1892

Schon das zweite Patent von 1900 -DRP No. 125895- stellt einen zusammengesetzten, kastenförmigen Holzträger dar, welcher dem Momentenverlauf parabelförmig angepaßt wurde. Die einzelnen Querschnittsteile wie Ober-, Untergurte und Stege werden durch ein nicht näher benanntes Klebemittel kraftschlüssig miteinander verleimt. Die beiden grundlegenden Probleme bezüglich der belastungsabhängigen Querschnittsoptimierung und der Wahl des Verbindungsmittels wurden hier erstmals beantwortet. Die Verleimung mehrteiliger Querschnitte stellt ein wirksames Mittel zur Verhinderung des Verdrehens und Reißens des Holzes dar.

Die rege Bautätigkeit um die Jahrhundertwende führte bei 6 Meter weitspannenden Balken für die üblichen Holzdecken zu einer Verknappung und Verteuerung großer Querschnitte.²⁹

So fällt das DRP No. 163144 vom 10.5.1903 genau in diesen Bereich. Otto Hetzer beschreibt hier die Herstellung eines Balkens großen Querschnittes aus einem der Länge nach parabelförmig zersägten Querschnitt, in dessen Fuge ein Brett eingeleimt wird. Diese Verleimung findet unter Druck statt.

Zur Vorwegnahme bleibender Durchbiegungen unter Eigengewicht wird eine Verleimung mit gegensätzlicher Vorverformung möglich. Über die Verwendung von Hölzern verschiedener Festigkeiten je nach Querschnitt sagt das Patent nichts aus.

Erst nach einem Vortrag vor dem Berliner Architektenverein am 4.3.1907 beschreibt der Regierungs- und Baurat Adams anlässlich von Versuchen des königlichen Materialprüfungsamtes in Berlin-Lichterfelde vom Juni 1904 das wesentlich höhere Tragverhalten verleimter Träger gegenüber analogen Vollholzquerschnitten. Bei dem untersuchten Träger wurde ein 39mm dickes Kiefern Brett in einen parabolisch aufgetrennten Fichtenholzbalken eingeleimt. Hierbei wurden Druck- und Zugspannungen von 380 zu 600 kg/cm² und Schubspannungen von 9 zu 25,5kg/cm² gemessen. Die Durchbiegungen des verleimten Trägers hätten nur ein Drittel des Vollholzträgers betragen.

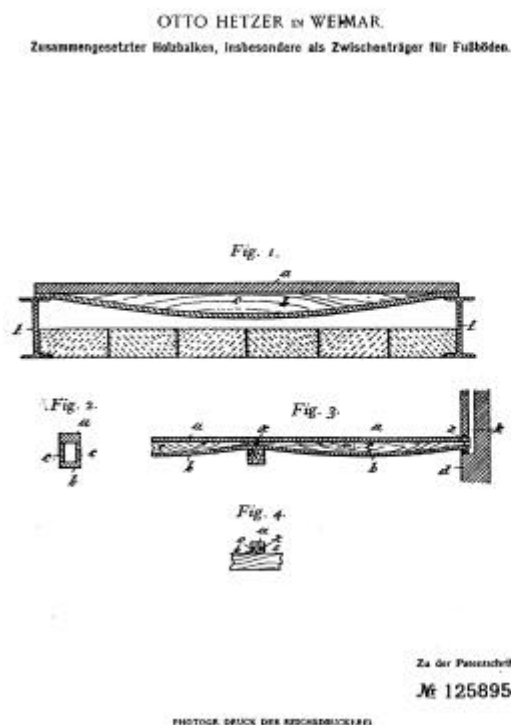


Abb.37.a Patent No 125895
Zusammengesetzter Holzbalken, 1901

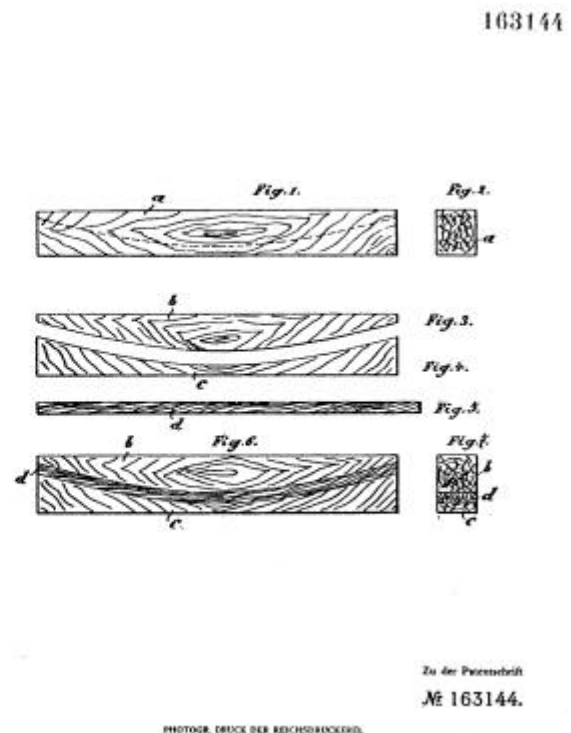


Abb.37.b Patent No 163144
parabolisch zusammengesetzter Balken, 1905

Der Hetzer-Balken versagte trotz wesentlich höherer Zugfestigkeit des Fichtenholzes zuerst an der Unterseite durch Einreißen der Holzfasern. Daraus schließt Adams, daß die

nennenswerte Erhöhung der Tragfähigkeit vor allem durch die Hetzer'sche Holzbehandlung herrühren muß. Bei diesem Verfahren werden die Proteinstoffe des Holzes ausgelaugt und anschließend das Holz getränkt, was zu einer Härtung führt.

Vergleichswerte der mechanisch-technischen Versuchsanstalt der Technischen Hochschule in München von 1907 ergaben die vierfachen Festigkeiten in einer Abnutzungsreihe zwischen normalem Buchenholz und dem Buchenholz, das nach Hetzer'scher Art gepflegt und nach besonderem Verfahren getränkt wurde.³⁰(Unterlagen heute nicht mehr auffindbar)

Adams fordert daher genauere Untersuchungen zur Klärung der Auswirkung der Festigkeiten und deren Anordnung im Querschnitt. Auch die Frage, ob das parabelförmige Brett besser als Druckbogen oder als "Zugseil" entsprechend den Spannungstrajektorien trägt, sei zu untersuchen.

Die Versuche des Königlichen Materialprüfungsamtes konnten aber in jedem Fall die höhere Festigkeit der Leimfuge gegenüber ihren umgebenden Holzfasern durch Zugversuche rechtwinklig zur Fuge nachweisen.

Insgesamt kann festgestellt werden, daß die Art der Sägeschnitfführung trotz geringen Verschnittes je nach Länge relativ aufwendig in der Herstellung ist, und eine verbreitete Anwendung nicht nachgewiesen werden konnte. Der Übergang zum Brettschichträger mit mehreren Schichten ließ den parabelförmig verleimten Träger wieder in Vergessenheit geraten.

Erst 1924 berichtet der Kontrollingenieur des Schweizer Eisenbahndepartements Fritz Hübner von Vergleichsversuchen zwischen Vollholz- und Brettschichtholzträgern, welche bei Holz des gleichen Baumes zu exakt denselben Festigkeiten führte. Die Streuung der Ergebnisse konnte aber stark reduziert werden, was der Homogenisierung des Brettschichtholzträgers entspricht³¹. Das Reißen der Zugfaser führte er auf ein Verschieben der Nullachse aufgrund unterschiedlicher E-Module für Zug- und Druckbeanspruchungen nach unten zurück, was zur Erhöhung der Zugspannungen führt.(s.Abb 38)

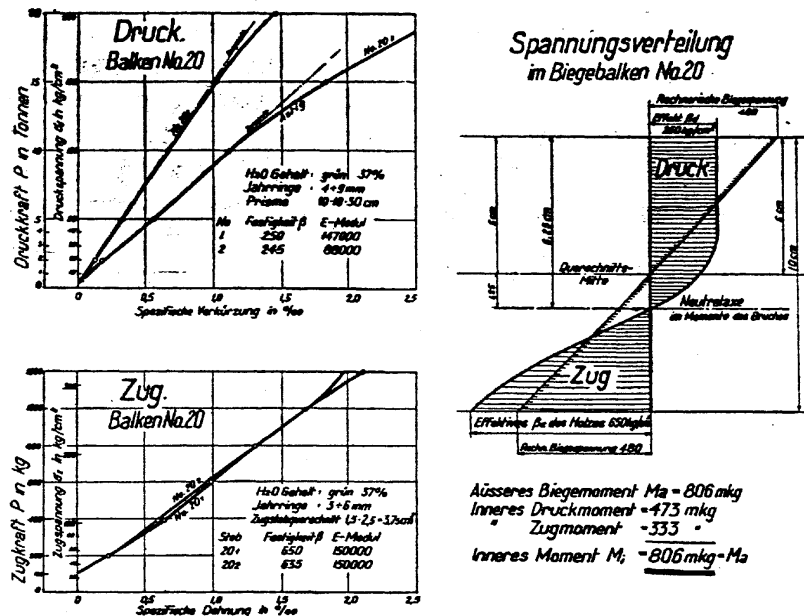


Abb. 45. Elastizitätsmessungen. Zug — Druck — Biegung — Spannungsverteilung. Douglasie (Schwyz), grün ($H_2O = 37\%$), Jahrringe 3—11 mm.

Abb.38. Spannungszustand im Bruchzustand mit verschobener Nullachse aufgrund verschiedener E-Moduli bei Druck und Zug.

Im Jahr 1906 erwarb Otto Hetzer das Patent DRP No. 197773 für gebogene, verleimte Brettschichtträger aus zwei und mehr Lamellen, welche auch unter Feuchtigkeit unlöslich miteinander verbunden sind. Ihre Verwendung wird für gebogene Sparrendächer empfohlen. Obwohl auch hier nicht ausdrücklich die Verwendung von Lamellen verschiedener Festigkeiten erwähnt wird, ermöglicht sie eine weitere Querschnittsoptimierung. So können die härteren Kernholzbereiche am Rande, die weichen Splintholzbereiche im mittleren Bereich angeordnet werden.

Damit ist Hetzer die Weiterentwicklung des Emy'schen Bohlenbinders gelungen, welche es ermöglichte, das Tragwerk der idealen Stützlinie weitestgehend anzupassen und stützenfrei große Räume zu überspannen und zugleich eine größtmögliche Biegesteifigkeit zu erzielen,

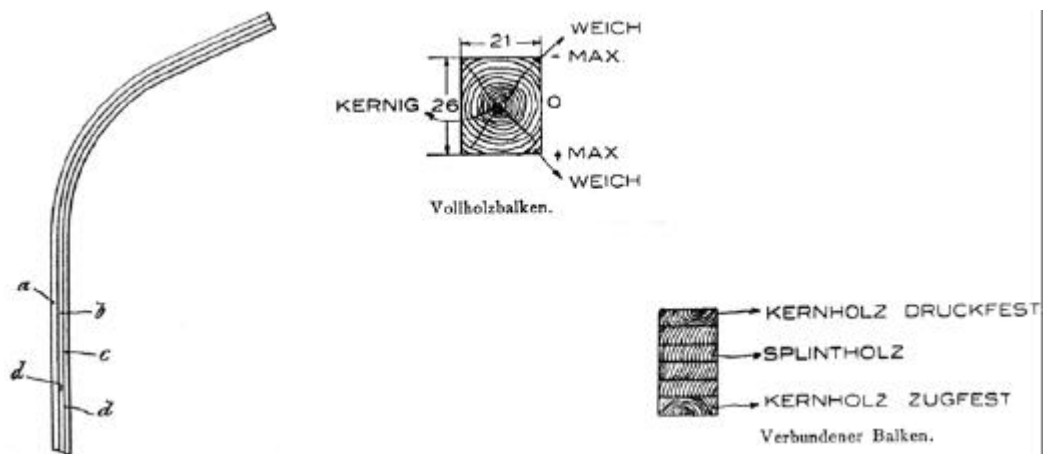


Abb.39. Patent No 197773

gebogener Holzbauteil für vereinigte Dachpfosten und Sparren, 1908

Abgeschlossen wird die Reihe der Hetzer'schen Patente mit dem DRP No. 225687 vom 21.9.1907 für „Fachwerkträger aus Holz, bei denen die Diagonalen aus einem

zickzackförmigen Holzstab bestehen“. Besonders bei der Konstruktion von Bogentragwerken größerer Spannweite stellt die geringere Steifigkeit der Vollholzquerschnitte immer ein Problem dar, was bei wechselnden Lasten zu hoher Biegebeanspruchung und damit zur Schwingungsanfälligkeit führt.

Ziel war es daher, Teile der Stegkonstruktion in Richtung der Hauptspannungstrajektorien als Druck- oder Zugstreben auszubilden. Eine hohe Schubbeanspruchung der Vollholzquerschnitte parallel zur Holzfaser und zur Leimfuge konnte dadurch umgangen werden.

Bei den Recherchen des Verfassers konnte bisher kein von Hetzer ausgeführtes Bauwerk dieser Art gefunden werden.

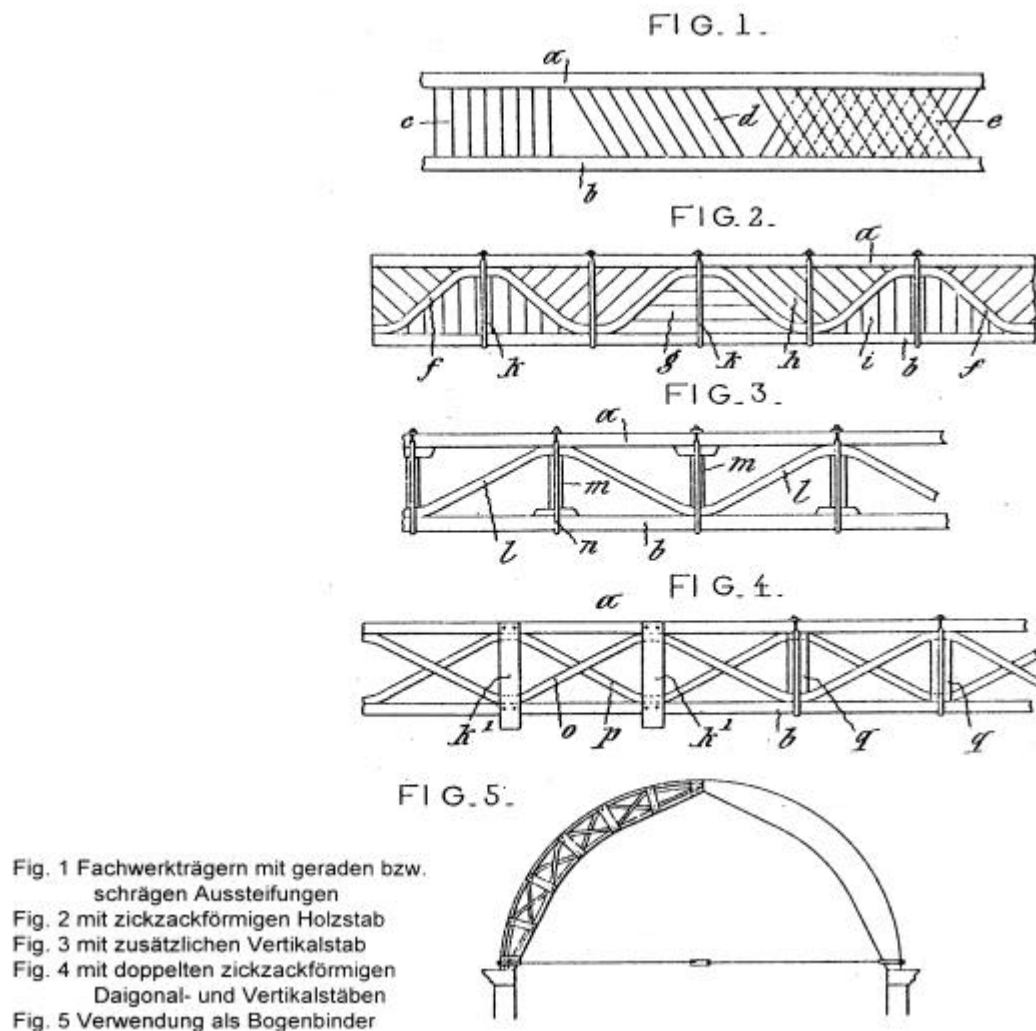


Abb.40. Patent No 225687 Fachwerkträger aus Holz, 1910

Zur Anwendung dieser Patente, welche auch in anderen europäischen Ländern, so in der Schweiz, in Schweden und Italien, erworben wurden, vergab man Lizenzen oder die Verwertungsrechte.

Besonders ist hierbei das Ingenieurbüro Ternier & Chopard in Zürich hervorzuheben, welches die Patente 1909 nach eigenen Versuchen erwarb. In den folgenden Jahren entstand eine große Anzahl von Projekten, die im weiteren genauer dargestellt werden sollen. Das Büro Ternier & Chopard bestand bis 1933 und war neben dem Erfinder Otto Hetzer ein bedeutender Wegbereiter der Holzleimkonstruktionen.³²

Darüber hinaus sind noch die Firmen Töreboda Limträ in Schweden als Lizenznehmer ab 1919 und die Firma Nemaho in Doetinchem in Holland ab 1921 zu erwähnen. Die Arbeiten und Entwicklung dieser Firmen sollen im zweiten Teil genauer untersucht werden.

2.6 Analyse deutscher und internationaler Tragwerksbeispiele

Im folgenden soll eine systematische Darstellung der Entwicklung der Tragwerke bis zum 1. Weltkrieg erfolgen, die auf der Basis der Hetzer'schen Patente entstanden sind. Diese Zeit einer geradezu stürmischen Entwicklung verlangsamte sich in den zwanziger Jahren infolge der wirtschaftlichen Umstände.

2.6.1 Decken- und Dachkonstruktionen

Als eines der ersten ausgeführten Projekte mit Einsatz von Hetzer'schen Verbundbalken wird das Berliner Reichstagsgebäude genannt, in dem 15 Meter lange Träger verwendet worden sein sollen.³³ In den Planunterlagen ließen sich hierfür keine näheren Anhaltspunkte finden. Ob diese Träger den Reichstagsbrand und den Umbau durch Paul Baumgarten überdauerten, ist unwahrscheinlich, da sie bei den jetzigen Umbaumaßnahmen nicht gefunden wurden.

Bei den Hetzer'schen Dachkonstruktionen handelt es sich in der Regel um gerade oder gebogene Zwei- und Drei-Gelenkrahmen. Zur Aufnahme des Horizontalschubes wurden entweder stählerne oder hölzerne Zugbänder vorgesehen, wodurch die Auflager infolge Eigengewicht und Schnee nur vertikal belastet wurden. Um stützenfreie Dachräume zu erzielen, wurden diese Zugbänder in Deckenebene angeordnet. Bei stählernen Zugbändern findet man auch häufig angehobene gesprengte Ausbildungen, was in der Regel einen wesentlich leichteren Raumeindruck bewirkte. Die Spannweite dieser Dächer lag im allgemeinen bei 10 bis 20 Metern.

Die hölzernen, verleimten Dachkonstruktionen mußten sich gegen die herkömmlichen zimmermannsmäßigen Holz-, Stahl- und Stahlbetonkonstruktionen durchsetzen. Die Vorteile gegenüber den herkömmlichen Holzkonstruktionen lagen besonders in einer besseren Materialausnutzung und damit in Ersparnis und einer höheren Nutzbarkeit der Dachräume infolge der Stützenfreiheit. Dadurch konnte auch ein größerer Brandschutz durch einfache Ummantelung der Bauteile erzielt werden.

Bei gewölbten und gekrümmten Dächern war besonders die leichte Formbarkeit der verleimten Sparren ausschlaggebend. Gegenüber Stahl konnten sich die Hetzer-Konstruktionen durch den günstigeren Preis durchsetzen, was auch bei Stahlbetonkonstruktionen zutraf. Entscheidend waren oft auch die hohe Vorfertigung und die kurzen Bauzeiten. In manchen Fällen, bei späteren Aufstockungen z.B., führte das geringere Gewicht auch zu Ersparnissen im Lastabtragungsbereich.

Das Dach selber wurde oftmals auf die Tragkonstruktion aufgeständert, so daß die Einheit zwischen Tragwerksform und äußerem Erscheinungsbild verloren ging. Eine noch erhaltene Dachkonstruktion diesen Typs existiert in Mürwik bei Flensburg. Sie wurde um 1907 zur Überdeckung der "Kaiserlichen Turnhalle" der heutigen Marineschule errichtet. Als Haupttragwerk dient ein abgewinkelter Dreigelenkrahmen mit angehobenem Zugband. Die Spannweite beträgt 13,83 m bei einer Konstruktionshöhe von 4,15 m.

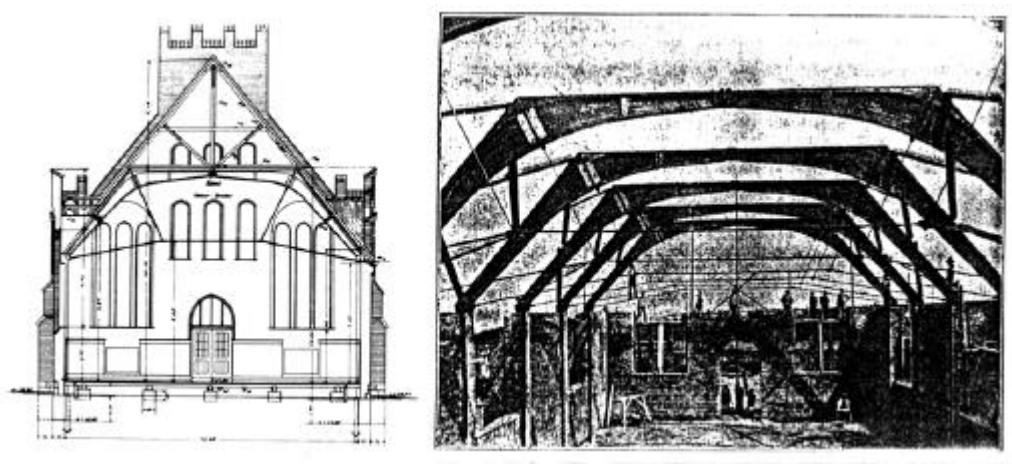


Abb.41. ehemalige kaiserliche Turnhalle in Mürwik bei Flensburg, erbaut 1907, Schnitt und Bauzustand

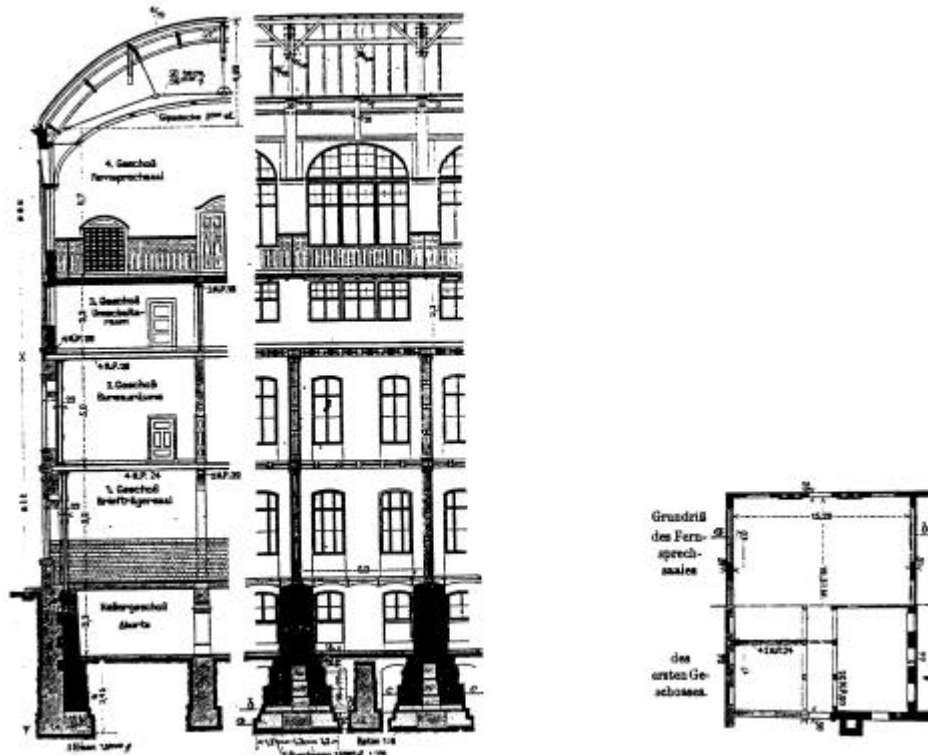


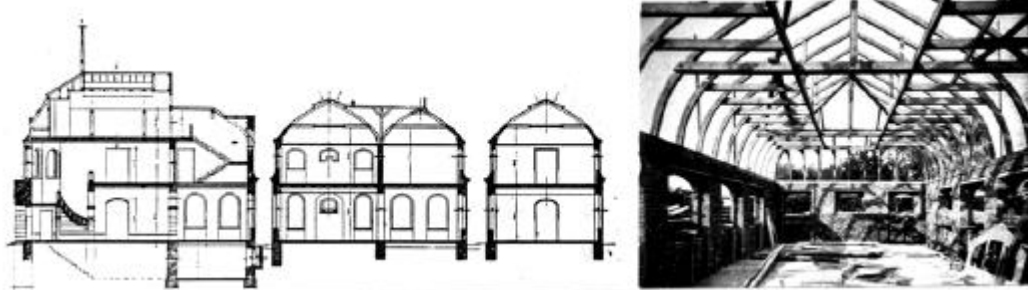
Abb.42. Fernmeldehalle in Trier, erbaut 1909, Grundriß, Quer- und Längsschnitte

In Trier setzte sich 1909 eine Hetzer-Konstruktion bei der Überdachung des Fernsprechsaales gegen eine Stahl- und Stahlbetonkonstruktion durch. Entscheidend war hierbei sowohl der Preis von 3700 Reichsmark zu 6500 bzw. 8300 Reichsmark als auch das wesentlich geringere Gewicht (21000 kg zu 35000 kg bzw. 100000 kg), was zu einem geringeren Gründungsaufwand bei dieser nachträglichen Aufstockung führte. Auch die geringe Bauzeit von sieben Arbeitstagen war am Ende von Vorteil.³⁴

Die Zweigelenkbogenbinder mit angehobener Unterspannung stehen im Achsabstand von 6,4 m und überspannen 15,28 m. Die doppel-T-förmigen Binder aus Fichtenholz haben eine Höhe von 70 bzw. 50 cm am Rand und 9 Stegverstärkungen. Diese dienten hauptsächlich der Sicherung aufgehender Leimfugen. Zur Unterstützung der Pfetten (18 auf 24 cm im Querschnitt) sind am Binder abgehängte Kopfbänder vorhanden.

Ein sehr schönes Beispiel einer gebogenen Sparrendachkonstruktion mit angehobenem Zugband aus dem Jahr 1906 befindet sich im Naturhistorischen Museum in Altenburg. Die Sparren haben einen rechteckigen Querschnitt im Abstand von etwa einem Meter. Die angehobene hölzerne Zange ermöglichte es, den Saal frei überspannend mit einer entsprechenden Höhe von 4 m auszubilden, ohne das Dach übermäßig hoch werden zu lassen. Das Dach überspannt etwa 8 m , weshalb die Zangen auch nicht überall durchgängig ausgebildet werden mußten, um so das Oberlicht von der Konstruktion freizuhalten. Die geringen Horizontalkräfte aus Eigengewicht und Schnee, die infolge eines höhergelegten Zugbandes auftreten, scheinen vom Mauerwerk aufgenommen worden zu sein.³⁵

Ebenfalls wurden in diesem Gebäude aus Kostengründen auch Hetzer'sche Träger für die Deckenkonstruktion mit 5,5 m Spannweite im Abstand von 80 cm verwendet, welche die hohe Belastung der Steinsammlung aufzunehmen hatten.



a) b)
Abb.43. Museum für Naturkunde in Altenburg, erbaut 1906, a) Schnitte, b) Bauzustand

Eine ähnliche Konstruktion auf ovalem Grundriß entstand 1909 in Hagen in Westfalen. Die Kuppel zur Überdachung der Stadtgartenhalle spannte über eine Fläche von 12,3m und 17m. Drei Zweigelenkbinder mit angehobenem Zugband und vier Gratbinder ergeben mit ringförmigen Pfetten die Auflager für die gebogenen Sparren. An der Unterspannung war eine Putzdecke abgehängt. Am 15.3.1945 wurde die Kuppel durch Brandbomben zerstört.

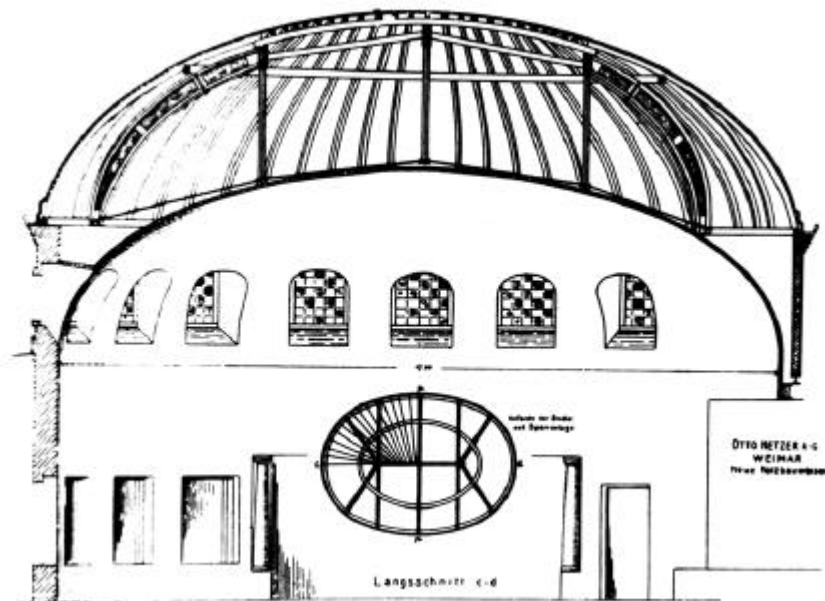


Abb.44.: Stadtgartenhalle in Hagen in Westfalen, erbaut 1909, Längsschnitt

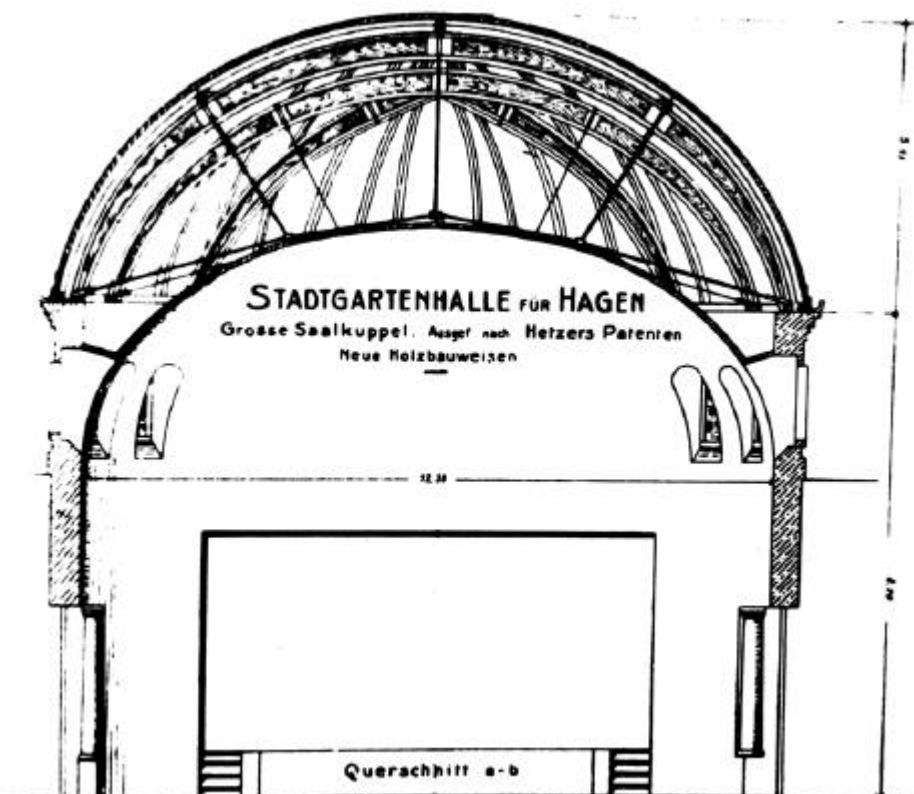


Abb.45.: Stadtgartenhalle in Hagen in Westfalen, Querschnitt, 1909

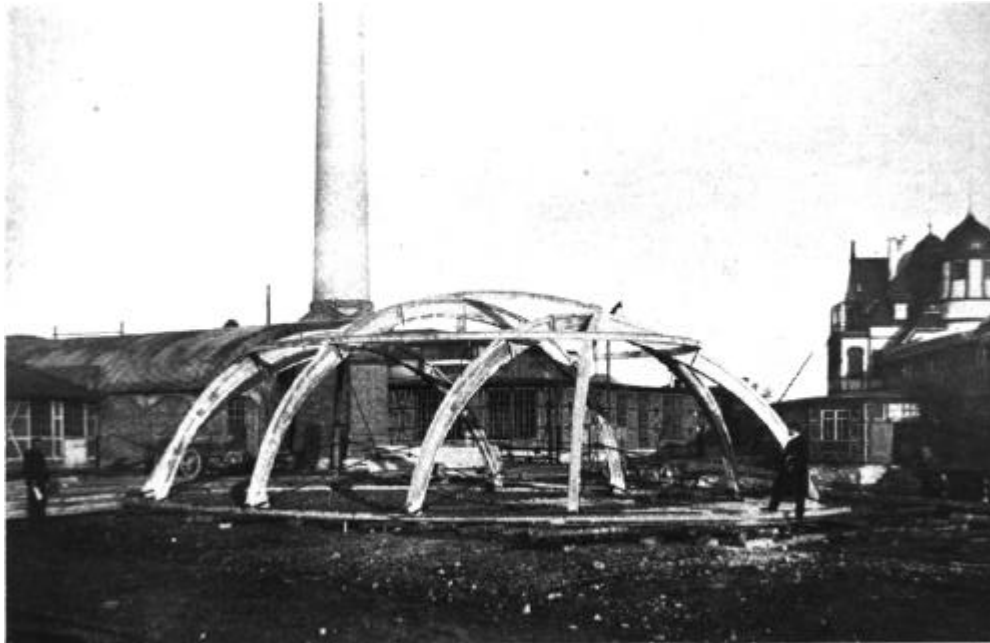


Abb.46. Stadtgartenhalle in Hagen in Westfalen, erbaut 1909, Abbund auf dem Werksgelände in Weimar mit Firmenvilla im Hintergrund

Nachdem 1909 das Büro Terner & Chopard die Lizenzen auf die Hetzer'schen Patente übernommen hatte, entstanden sehr schnell die ersten ausgeführten Projekte in der Schweiz. So wurde 1911 die katholische Kirche in Romanshorn mit unterspannten Dreigelenk-Bindern im Achsabstand von 4,5m mit einer Spannweite von 14,2m überdeckt.³⁶

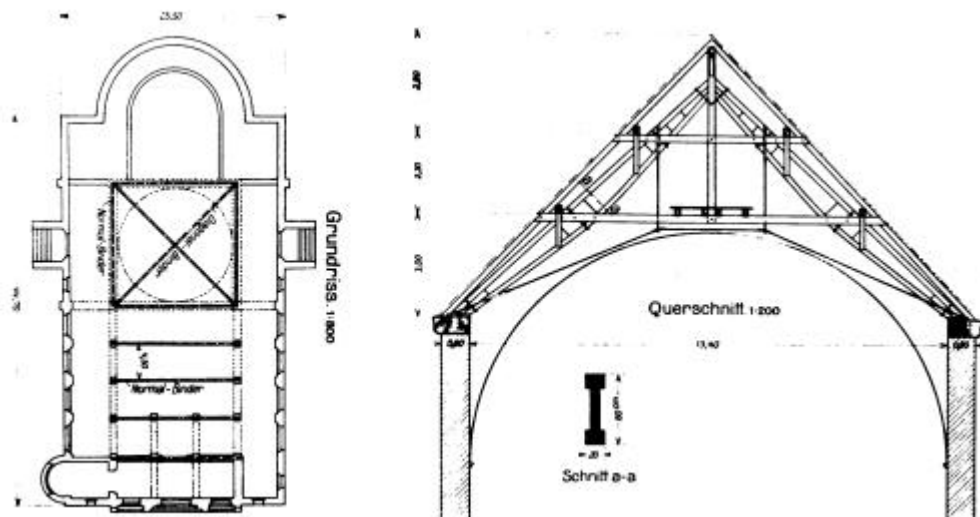


Abb.47. Dachstuhl der Kath. Kirche in Romanshorn, erbaut 1911, Grundriß und Querschnitt

Eine zweigeschossige Dachkonstruktion entstand 1909 für das Hotel Beauregard in Lausanne (Avenue Court 25). Die 16,9m weit spannenden Dreigelenkbinder wurden hier versetzt angeordnet, um sie in den Zimmerwänden zu integrieren. Dadurch wurde ein biegesteifes Fachwerk zur Aufnahme der Schubkräfte am First erforderlich.

Zur Aufnahme der Horizontalkräfte am Fußpunkt der Binder wurde eine Verankerungsbewehrung in der Stahlbetondecke vorgesehen (Pfette parabolisch geformt). Für die Decken wurden bis zu 7,7m spannende Verbundbalken mit parabolischer Einlage verwendet.

Eine ähnliche Dachkonstruktion entstand 1910 auch für den Lebensmittelverein in Zürich in der Zypressenstraße, heute Ernastraße, gebaut von dem Architekten Ed. Heß, die sich heute noch in gut erhaltenem Zustand befindet.³⁷

Eine sehr flache Kuppel auf rundem Grundriß entstand um 1910 für das Krematorium Sihlfeld D in Zürich durch den Architekten Fröhlich. Die 12m weit spannende Kuppel besteht aus vier radial angeordneten Zweigelenkbögen mit angehobener Unterspannung. Die gebogenen Hetzer-Sparren (10/15cm) lagern in den Viertelpunkten auf einer Ringpfette und in der Mitte auf. Die untergehängte halbkugelförmige Deckenkuppel wird von acht am Rand gespreizten Hetzer-Sparren gehalten.

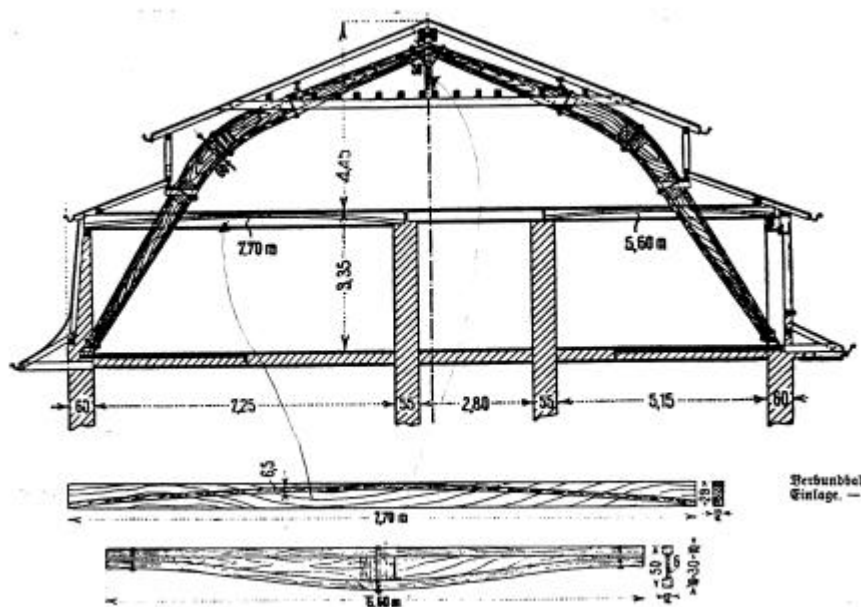


Abb.48. Dachstuhl des Hotel Beauregard in Lausanne, erbaut 1909, Schnitt, Verbundbalken mit parabolischer Einlage, parabolische Pfette

Eine der schönsten Kuppelkonstruktionen entstand um 1911 für den Turm des Hygienischen Instituts in Zürich - heute Hauptgebäude der Universität, Kollegiengebäude 1. Das glockenförmige Sparrendach auf quadratischem Grundriß von 15,7m hat eine Höhe von 8 m. Die gebogenen Sparren (10 auf 28cm im Querschnitt) stehen im Abstand von 90 cm und sind nur im oberen Viertel durch Zangen ausgesteift. Die Kuppel befindet sich heute noch in ausgezeichnetem Zustand. (Von dieser Kuppel existieren noch Vorentwürfe von Curjil & Moser vom 19.10.1912 für eine zimmermannsmäßige Konstruktion, welche vermutlich im Zusammenhang von zwei möglicherweise abgehängten Geschossen stand. Warum diese nicht zur Ausführung kamen, ist nicht bekannt.)

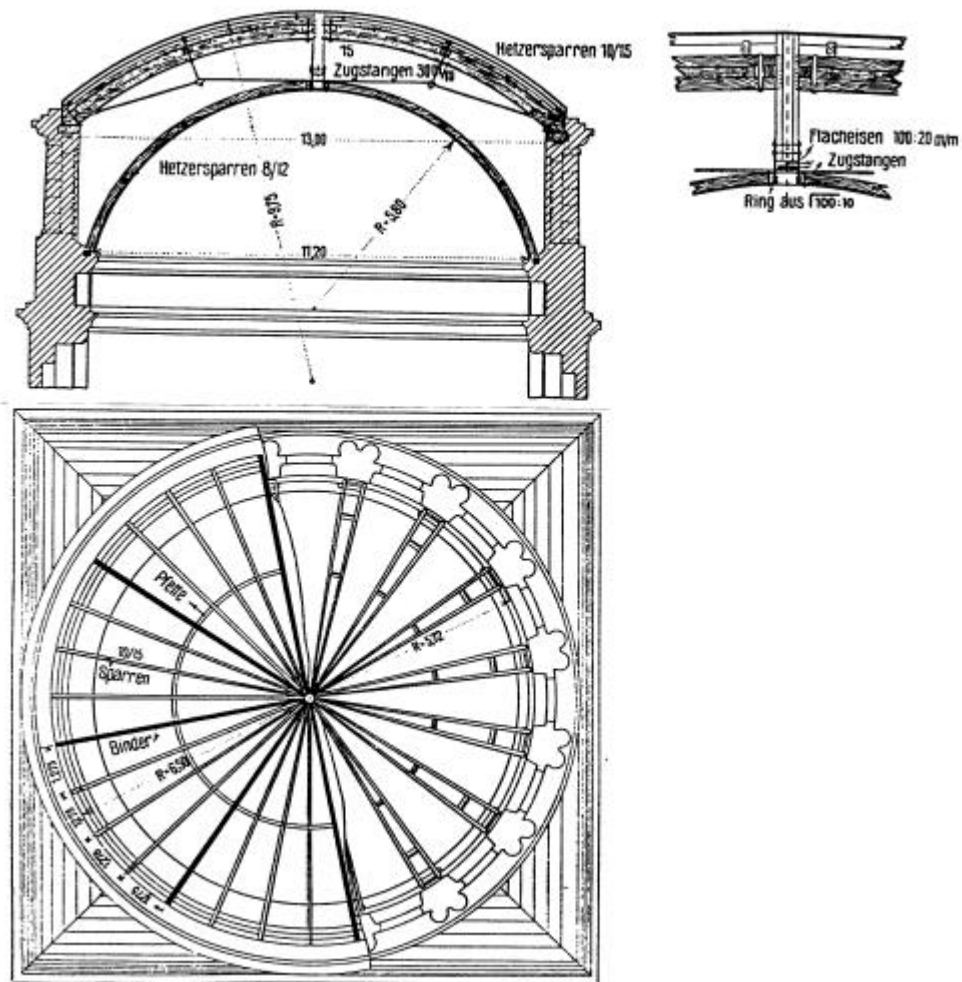


Abb.49. Dachkuppel des Krematoriums in Zürich, erbaut 1910, Grundriß, Schnitt, Firstpunkt

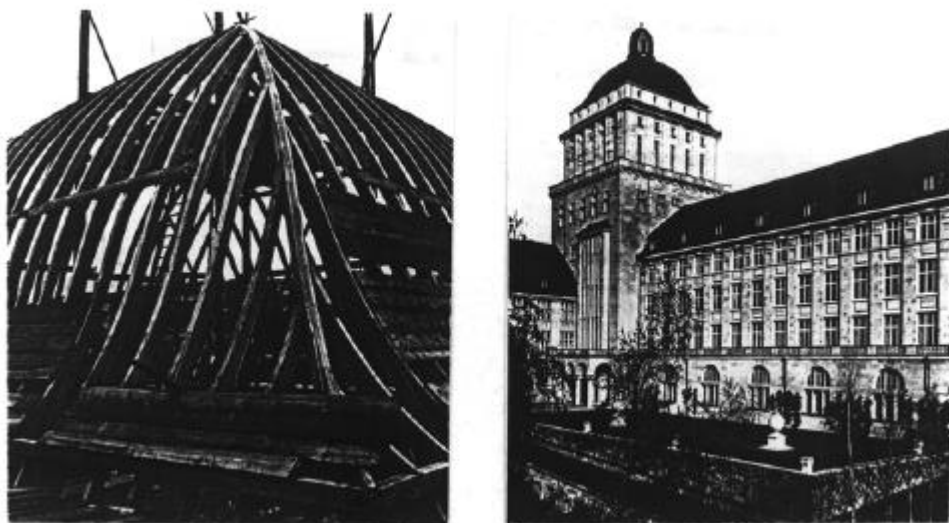


Abb.50. Dachkuppel des ehemaligen hygienischen Instituts, heute Hauptgebäude der Universität Zürich,erbaut 1911, Außenansicht, Bauzustand

2.6.2 Bahnsteigüberdachungen

Nach ersten, teilweise euphorisch kommentierten Tragwerksentwicklungen aus Eisen und Stahl zur Überdachung von Bahnsteigen stellten sich schon bald die ersten Ernüchterungen ein. Die ständige Belastung durch den Ausstoß von Rauchgasen und Wasserdampf führten zu starken Korrosionserscheinungen, welche auch durch schwierige, aufwendige Instandsetzungsmaßnahmen und beste Anstriche kaum zu beherrschen waren. So zeigte sich zum Beispiel beim Abriß der Halle über dem Bahnhof Friedrichstraße in Berlin bereits nach 33 Jahren trotz dreimaliger Anstriche eine Korrosion der Hauptträger bis zu 26% am Scheitel. Besonders leichte Konstruktionen wie Wellbleche wurden schon nach kurzer Zeit undicht.³⁸

Bei nicht erfolgter Instandsetzung führte diese Korrosion zum Versagen. So wurde der Einsturz der Gleishalle des Charing-Cross-Bahnhofes in London auf das Durchrosten der eisernen Zugbänder der Bogenbinder zurückgeführt.³⁹

Auch Stahlbetonkonstruktionen konnten sich aus Kostengründen nur selten durchsetzen. So berichtet Schaechterle 1924 von ungefähr 50% höheren Aufwendungen für Stahlbetonkonstruktionen im Vergleich zu Holzkonstruktionen.

All diese Erfahrungen führten zu einem verstärkten Einsatz von Holz für Bahnsteigdächer und -hallen, weshalb bereits 1912 die Generaldirektion der Schweizer Bahnen in Bern eine Empfehlung zur verstärkten Verwendung von Holz aussprach.⁴⁰

So führte 1913 die Otto Hetzer AG Weimar eine heute noch erhaltene Güterbahnsteigüberdachung in Erfurt aus. Die 18 Meter weit span nende Bogenkonstruktion mit hölzernem Zugband krägt jeweils seitlich um 3,5m und 4,65m aus. Die Binder stehen im Abstand von 9m, weshalb die Pfetten ebenfalls als Doppel-T-Profile ausgebildet wurden. Die Aussteifung erfolgt über biegesteife Eckausbildungen in Längsrichtung und eingespannte Stützen in Querrichtung. Die Einspannung am Fußpunkt diente hauptsächlich der Ableitung der Anpralllasten.

In späteren Jahren wurde die Überdachung als Fachwerkkonstruktion verlängert. Nach Bauschäden sind die Stützen heute stark verändert und teilweise in Stahl ersetzt worden. Durch die Verlegung des Güterbahnhofes in einigen Jahren wird auch dieses Bauwerk vom Abriß bedroht, wenn nicht andere Nutzungen gefunden werden.

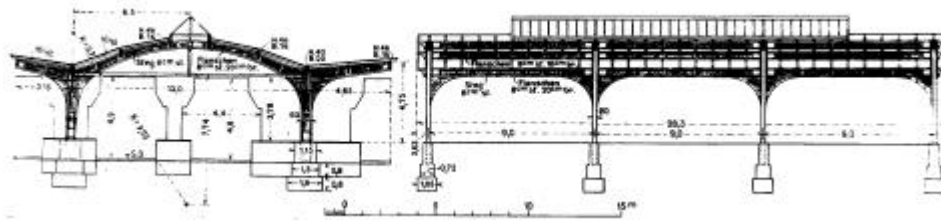


Abb.51. Ladestegüberdachung in Erfurt, erbaut 1913, Quer- und Längsschnitt

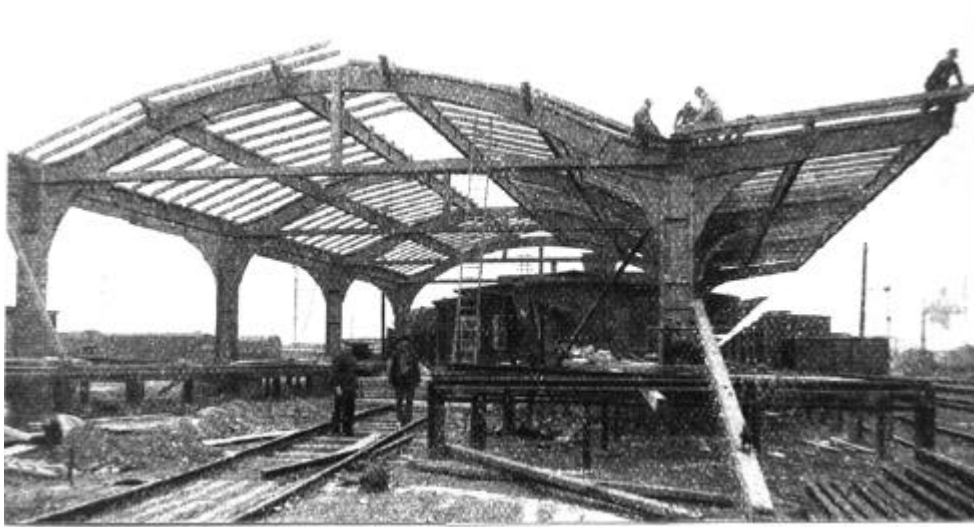


Abb.52. Ladestegüberdachung in Erfurt, Bauzustand.

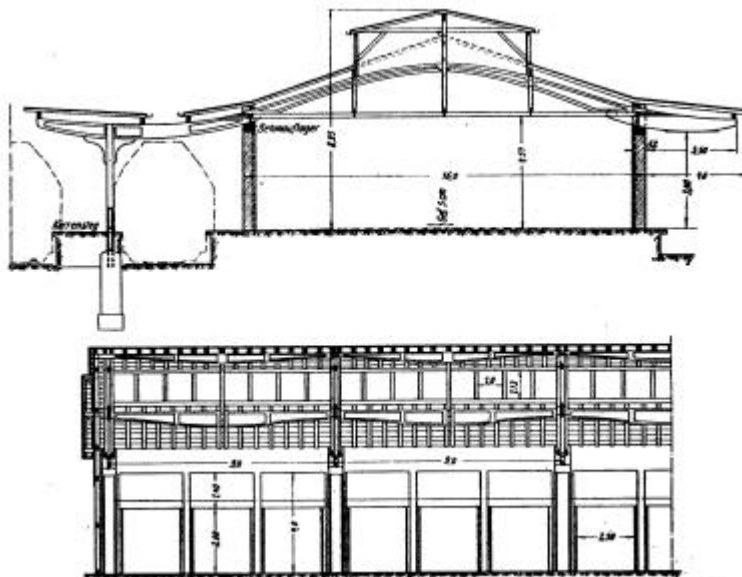


Abb.53. Versandschuppen in Stuttgart, erbaut 1914, Quer- und Längsschnitt



Abb.54. Versandschuppen in Stuttgart, erbaut 1914, Innenansicht

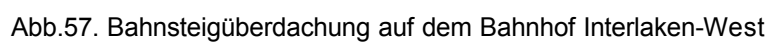
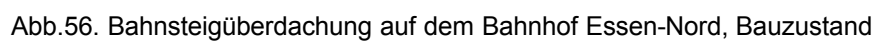
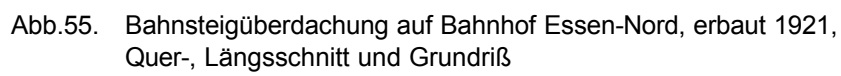
Auch in Stuttgart entstand 1914 ein 154m langer Versandschuppen mit Laderampe. Die Dachkonstruktion überspannte als Bogen mit hölzernem Zugband den 16m breiten Schuppen stützenfrei. Die im Abstand von 9m stehenden Binder überspannten die Laderampe, ein Gleis und einen weiteren Bahnsteig, wo sie nochmals aufgelagert waren. Dieser über den Gleisen befindliche Lüftungsschlitz führte auch zu starken Beanspruchungen der Konstruktion durch Feuchtigkeit und Hitze. So klappten die Leimfugen in der Mitte des Steges über einer Länge von 2 bis 3 m auf, was zum Versagen der Konstruktion führte.

So schreibt Schaechterle : „Die seinerzeit von der Hetzer A.-G. in Vorschlag gebrachte zulässige Beanspruchung von 140 kg/m^2 auf Biegung und $11,5 \text{ kg/cm}^2$ auf Schub waren viel zu hoch gegriffen. Nach unseren Erfahrungen ausgeführter Bauten sollte für das ungünstigste Zusammenwirken der äußeren Kräfte, Eigengewicht, Nutzlast, Schnee, Wind über 80 kg/cm^2 , entsprechend vier- bis fünffacher Bruchsicherheit nicht hinausgegangen werden.“⁴¹

Eine später durchgeführte Erweiterung wurde aus diesen Erfahrungen und aus Kostengründen als Fachwerkkonstruktion ausgeführt.

Eine einstielige Bahnsteigüberdachung entstand 1921 zum Beispiel am Bahnhof Essen-Nord. Die in zwei UProfile eingespannten Stützen stehen im Achsabstand von 8,1 m, der von Doppel -T-Pfetten überspannt wird.

Für den Bahnhof Interlaken-West entwarf Charles Chopard eine Bahnsteigüberdachung mit kleineren Achsabständen und geringeren Auskragungen, die dadurch zu wesentlich schlankerem Aufbau der Stützen führte. Besonders ist hierbei der geringe Biegeradius von 1,6 m der Lamellen zu beachten, welcher durch Lamellenstärken von 10 bis 15 mm erreicht wurde.⁴²



2.6.3 Hallen

Die erste nachzuweisende Halle in Hetzer-Bauweise entstand 1910 als Deutsche Eisenbahnhalle für die Weltausstellung in Brüssel. Sie bestand zwar nur als temporäres Gebäude, hatte aber mit ihren 43 m Spannweite ein erst sehr viel später wieder erreichtes Ausmaß. Der Zweigelenkbinder mit 14 m Scheitelhöhe hatte in 8,2 m Höhe ein eisernes Zugband.⁴³

Die im Querschnitt vorhandenen Spannungen wurden mit 136 kg/cm^2 ($=1,36 \text{ KN/cm}^2$) angegeben, die auch heute mit Brettschichtholz, Güteklasse 1, zulässig wären. Aufgrund der Größe der Binder waren für den Transport fünf Montagestöße erforderlich, die biegesteif ausgebildet waren.

Als Ingenieur der Halle wird Hermann Kügler aus München genannt, dessen statische Berechnung eines 2-fach statisch unbestimmten Rahmens veröffentlicht wurde. Die Ausführung erfolgte durch Steinbeis & Cons. aus Rosenheim.⁴⁴ Der Entwurf der Halle stammt von Peter Behrens und läßt äußerlich wenig von der Leichtigkeit der Konstruktion, geschweige seiner außerordentlichen Spannweite vermuten. Dies spiegelt ein gestalterisches Grundproblem der damaligen Architekten mit dem reinen Tragwerk wieder. So schreibt Robert Breuer in seinem Bericht zur Weltausstellung: "Während etwa die belgischen und französischen Eisenhallen nur nackte Konstruktion blieben, oder gar durch mäßige Mittel dekorativ belastet wurden, haben Dülfer, Behrens und Walter dem Eisengefüge einen architektonischen Ausdruck abgewonnen."⁴⁵

Nicht nur wird die Konstruktion als Eisenkonstruktion falsch beschrieben, sondern die Holzkonstruktion mit bisher nie gebauter Spannweite überhaupt nicht erwähnt. So kann man diese Art der Gestaltung wie folgt zusammenfassen: Das reine Tragwerk aus Holz wird erst durch eine massive Fassade als Dekoration zur Architektur. Eine Parallele hierzu stellt die AEG-Turbinenfabrik in Berlin von Peter Behrens dar, deren schwere Giebelfassade wenig von der dahinterliegenden stählernen Fabrikhalle ahnen läßt. Ganz im Gegensatz dazu bestand bereits zu dieser Zeit die in Gingen gebaute Fabrikationshalle für die Firma Steiff, die ganz in Stahl und Glas erstellt wurde.

Der Typus des gebogenen Zweigelenkrahmens mit angehobenem hölzernen Zugband fand in den folgenden Jahren in kleinerer Ausführung hauptsächlich Verwendung als Gewerbe-, Reit- und Flugzeughalle. Aus der Zeit um 1910 muß die noch heute auf dem ehemaligen Werksgelände in Weimar befindliche Abbundhalle mit 26 m Spannweite stammen. Die Binder stehen im Abstand von 9 m, der durch doppel-T-förmige Pfetten überspannt wird. Die zweite noch erhaltene Halle auf diesem Werksgelände ist mit 20 m Spannweite als parabelförmiger Zweigelenkbogen mit Zugband auf Fachwerkstützen ausgebildet. Originalpläne oder genaues Baujahr konnten bisher noch nicht ermittelt werden.

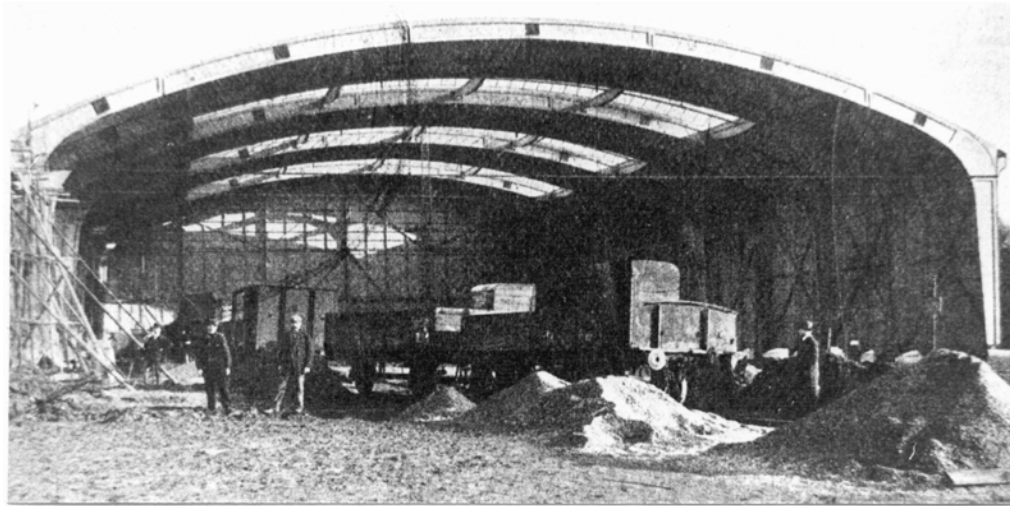


Abb.58. Deutsche Eisenbahnhalle zur Weltausstellung in Brüssel 1910, Bauzustand.

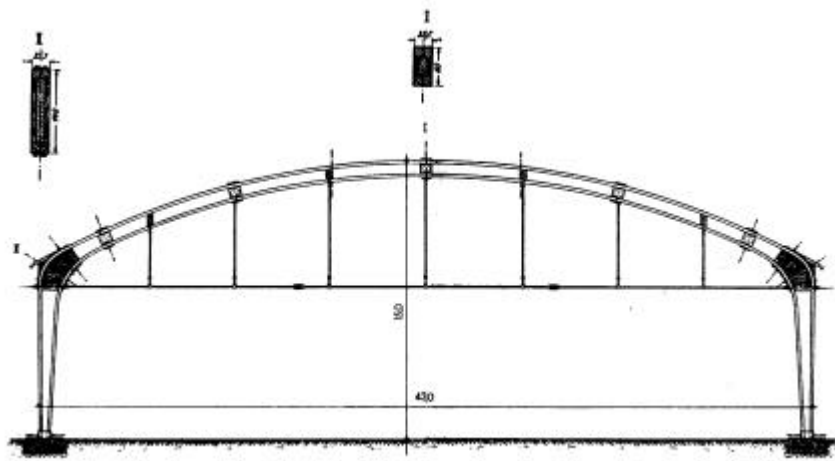


Abb.59. Deutsche Eisenbahnhalle Brüssel, Querschnitt, 43 m Spannweite

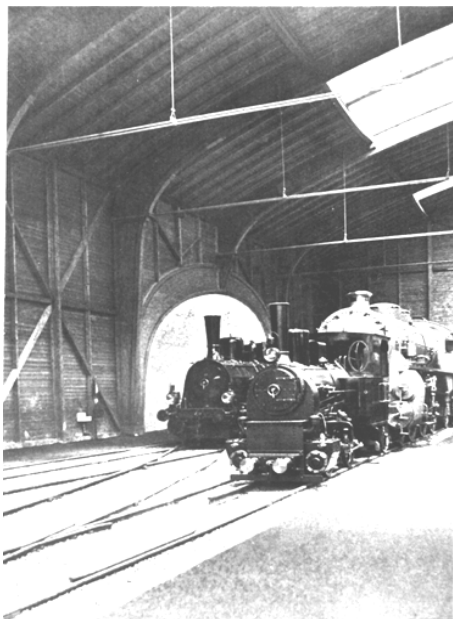


Abb.60. Deutsche Eisenbahnhalle, Innenansicht



Abb.61. Deutsche Eisenbahnhalle, Außenansicht.

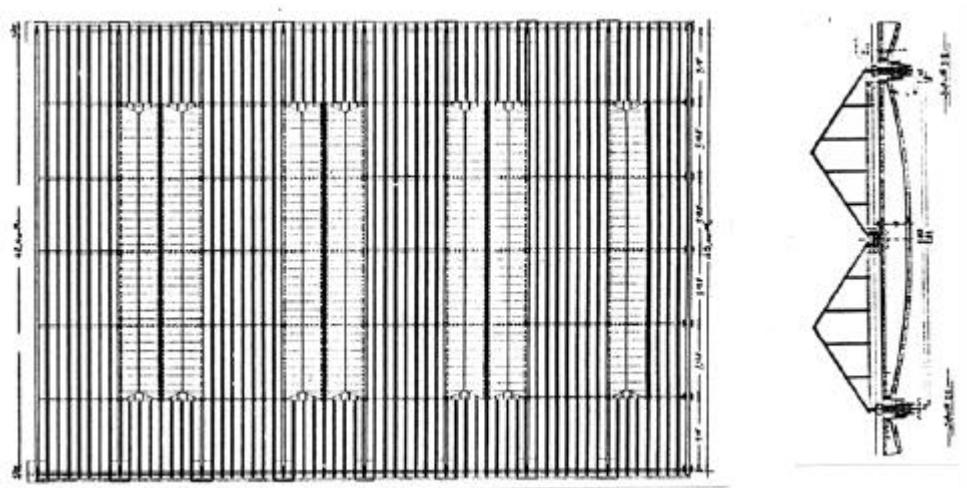


Abb.62. Deutsche Eisenbahnhalle, Pfette, Grundriß.

Ab 1912 entstanden Flugzeughallen mit 21m Spannweite aus Zweigelenkbindern mit angehobenem, hölzernen Zugband im Binderabstand von 5m.⁴⁶ Im Bereich der Tore wurden die Binder als einhüftige Rahmen ausgebildet und durch einen Torbinder abgefangen. Die Lastannahmen wurden gemäß den ministeriellen Bestimmungen vom 31.1.1910 mit 150kg/m² Grundfläche für Eigengewicht, Schnee und Wind angesetzt, was nach heutiger DIN 1052 besonders im Lastfall Wind als grobe, symmetrische Vereinfachung anzusehen ist, welche zu geringeren Schnittkräften in den Rahmenecken führte.⁴⁷

Im darauffolgenden Jahr konnten sogar vier Flugzeughallen nach Chile verkauft werden. Neben Altenburg, Coburg und Gera entstanden auch in Weimar vier Flugzeughallen, von denen zur Entmilitarisierung im Rahmen des Versailler Vertrages 1919 drei Hallen abgebaut werden mußten. Die letzte Halle verschwand in der Mitte der 80er Jahre durch Abriß.



Abb.63. Flugzeughalle in Weimar, erbaut 1912, Außenansicht

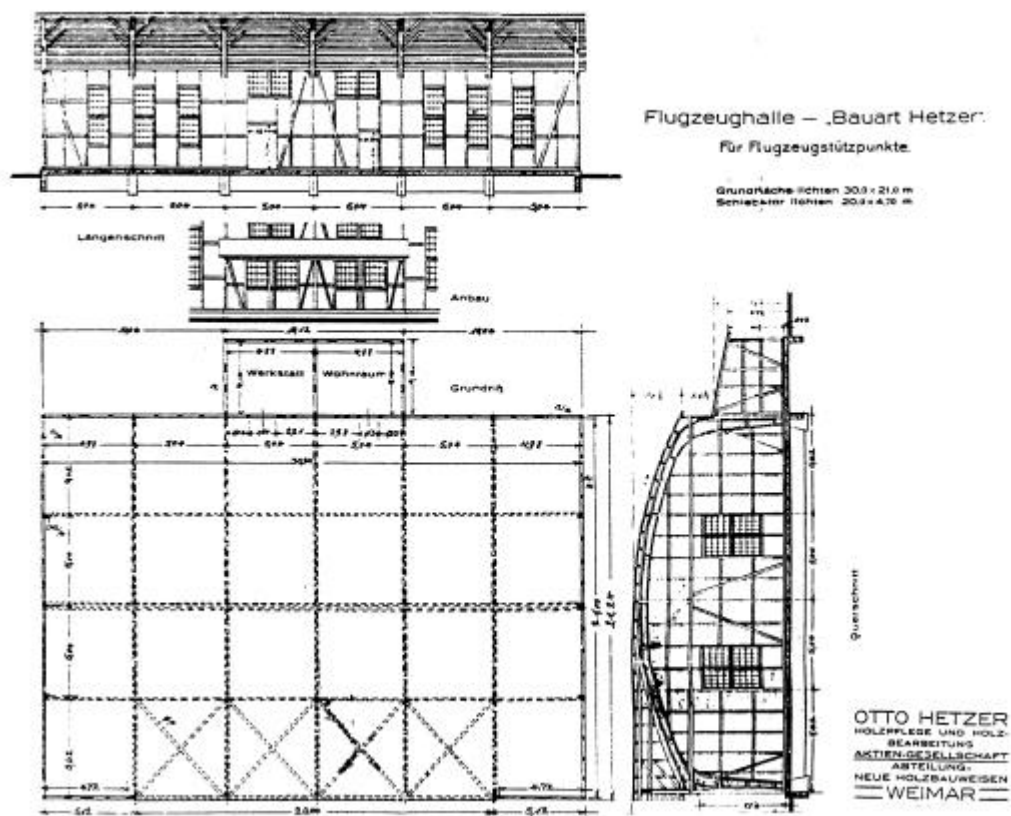


Abb.64. Typenentwurf einer Flugzeughalle, 21m Spannweite, erbaut 1912, Seitenansicht, Schnitte, Grundriß

Ebenso für die sichere Unterbringung der Luftschiffe bedurfte es großer Hallen, die als Hetzer-Konstruktionen projiziert wurden. Ob diese Planungen je verwirklicht wurden, ist noch nicht bekannt.⁴⁸

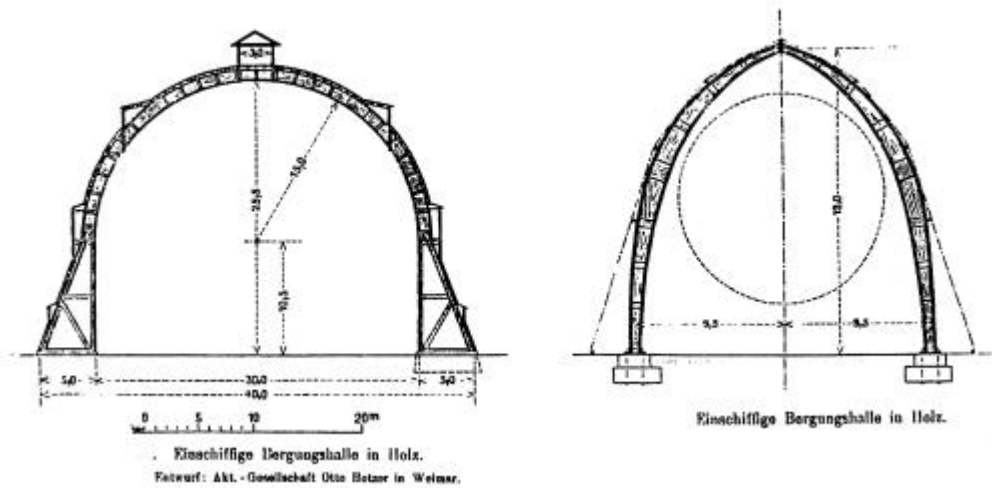


Abb.65. Einschiffige Bergungshallen

Abb.66. Typenentwurf einer Reithalle in Minden, 18m Spannweite, erbaut 1913, Schnitt

49

Statische Berechnung der Hetzer-Binder zum Neubau des Reithauses für den Scheinwerferzug des Pionier-Bataillons in Minden.

Vorbemerkung:

Maßgebend sind: die Ministerialbestimmungen vom 31. Januar 1910
die Zeichnung der Firma Otto Hetzer A.-G. vom
6. Oktober 1913.

Belastungen:

Eindeckung: Ruberoid.

Eigengewicht, Eindeckung, Schneelast und Wind zusammen

150 kg pro qm Grundfläche.

Seitenwind auf die Längswände 125 kg pro qm Fläche.

Binder:

Die Binder werden nach den Patenten der Firma Otto Hetzer A.-G.
Weimar hergestellt. Der Bogen besteht mit den Seitenstützen aus
einem Stück. Die Auflagerung an der Wand ist also in einer
Weise ausgeführt, die an Solidität überhaupt nicht übertroffen
werden kann.

Der Binder selbst ist ein Zweigelenkbogen mit hölzerner Zugstange.
Die Auflagerung auf den Seitenstützen ist biegesteif und exzentrisch.
Gesamtstützweite: 18,0 m.

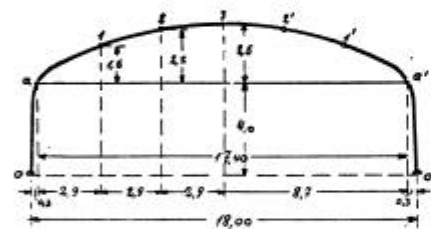
Exzentrizität der Auflager: 0,3 m.

Stützweite des Zweigelenkbogens: 17,4 m.

Höhenlage der Zugstange: 4,0 m.

Scheitelhöhe des Zweigelenkbogens: 2,5 m.

Binderentfernung: 4,2 m.



Hauptkoordinaten (s. Skizze).

Punkt	a	i	z	3
Abzisse	0	0,3	3,2	6,1
Ordinate	0	4,0	1,5	2,5

Lasten:

vertikal:

- a) $\frac{3,2}{2} \cdot 4,2 \cdot 150 = 1000 \text{ kg.}$
- 1) $2,9 \cdot 4,2 \cdot 150 = 1830 \text{ „}$
- 2) $2,9 \cdot 4,2 \cdot 150 = 1830 \text{ „}$
- 3) $2,9 \cdot 4,2 \cdot 150 = 1830 \text{ „}$

Auflagerdruck, Querkraften, Momente M_x für $x = 0$.

$A = 5575 \text{ kg}$	
$Q_1 = 1000 \text{ „}$	
$Q_2 = 4575 \text{ „}$	$M_1 = 4575 \cdot 2,9 = 13250 \text{ mkg}$
$Q_3 = 1830 \text{ „}$	$M_2 = 2745 \cdot 2,9 = 7950 \text{ „}$
$Q_4 = 2745 \text{ „}$	$M_3 = 21200 \text{ „}$
$Q_5 = 1830 \text{ „}$	$M_4 = 915 \cdot 2,9 = 2650 \text{ „}$
$Q_6 = 915 \text{ „}$	$M_5 = 23850 \text{ „}$

Momente M_x für $x = -1 \text{ t.}$

- 1) $-1,5 \text{ tm.}$
- 2) $-2,2 \text{ „}$
- 3) $-2,5 \text{ „}$

Integrale:

$$\int M_x^2 dx$$

$$a-1) \frac{3,2}{3} \cdot 1,5^2 = 2,4$$

$$1-2) \frac{3,2}{3} (1,5^2 + 2,2 \cdot 1,5 + 2,2^2) = 10,4$$

$$2-3) \frac{2,9}{3} (2,2^2 + 2,5 \cdot 2,2 + 2,5^2) = 16,0$$

$$\int_{\text{Mitte}} M_x^2 dx = 28,8$$

$$\int M_x M_y dx$$

$$a-1) \frac{3,2}{3} \cdot 1,5 \cdot 13,3 = 21,2$$

$$1-2) \frac{3}{6} [1,5 (2 \cdot 1,5 \cdot 2,2 - 2,2^2) + 2,2 (2 \cdot 2,2 \cdot 1,5 + 1,5^2)] = 92,0$$

$$2-3) \frac{2,9}{6} [2,2 (2 \cdot 2,2 \cdot 2,5 - 2,5^2) + 2,5 (2 \cdot 2,5 \cdot 2,2 + 2,2^2)] = 153,5$$

$$\int_{\text{Mitte}} M_x M_y dx = 266,7$$

$$x = -\frac{266,7}{28,8} = -9,26 \text{ t}$$

Resultierende Biegemomente:

	M_x	M_y	M
1)	13,35	13,9	-0,65 tm
2)	21,2	20,4	+0,8 „
3)	23,85	23,15	+0,6 „

Biegemomente in a:

Vom Auflagerdruck: $5575 \cdot 0,3 = 1575 \text{ mkg.}$
Vom Seitenwind: $125 \cdot 4,2 \cdot 125 = 5250 \text{ mkg.}$
 $M = 6825 \text{ mkg.}$

Querschnitte:

Bogen: bei 1) bis 3) $H = 42 \text{ cm}$

$h = 26 \text{ „}$

$B = 16 \text{ „}$

$b = 6 \text{ „}$

$F = 2 \cdot 16 \cdot 8 + 26 \cdot 6 = 412 \text{ cm}^2$

$W = \frac{1}{12,21} (42^3 \cdot 16 - 26^3 \cdot 6) = 4000 \text{ cm}^3$

o gering:

bei a) $H = 60 \text{ cm}$

$h = 44 \text{ „}$

$F = 520 \text{ cm}^2$

$W = 7234 \text{ cm}^3$

$\sigma = 96 \text{ kg/qcm}$

Zugstange $\sigma = 16/8$

$F \text{ brutto} = 256 \text{ cm}^2$

Abzug $2 \cdot 16 \cdot 2 = 64 \text{ „}$

$F \text{ netto} = 192 \text{ cm}^2$

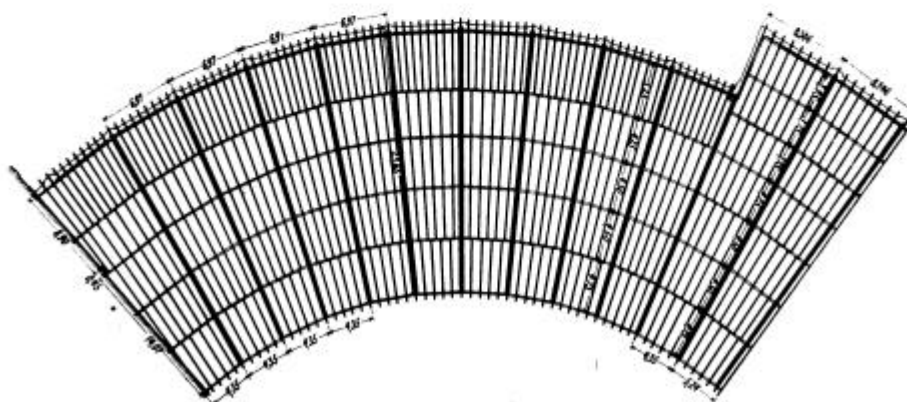
$\sigma = 48 \text{ kg/qcm.}$

Weimar, den 6. Oktober 1913.

Abb.67. Statische Berechnung der Reithalle.

In gleicher Bauweise entstand 1913 ebenfalls eine Reithalle für das Pionierbataillon in Minden mit 18 m Spannweite bei einem Binderabstand von 4,2m (Bestand noch ungeklärt).⁴⁹

Auch ein ringförmiger Lokomotivschuppen wurde im Jahr 1912 in Weimar als einhüftige, unterspannte Binderkonstruktion mit 23 m Spannweite ausgeführt.⁵⁰ Das Gebäude wurde im 2. Weltkrieg schwer beschädigt, und das Dach als Fachwerkkonstruktion wiedererrichtet.



A black and white photograph showing the interior of a large building under construction. The focus is on the intricate steel framework of the roof, featuring a series of large, curved arches supported by vertical beams. Several construction workers are visible, some standing on the lower levels and others working on the higher structural elements. The background shows the continuation of the building's interior with more arches and structural supports.

51

In der Schweiz setzte die Entwicklung der Hallenbauten zu gleicher Zeit im Jahr 1910 mit dem aus heutiger Sicht schönsten - wenn auch nicht größten - Beispiel Hetzer'scher Bauart ein: mit der Reithalle in St. Moritz. Die Zusammenarbeit zwischen der Firma Nik.Hartmann & Cie und den Ingenieuren Turner und Chopard führte hier zu einem, alle Möglichkeiten der neuen Holzbauweise ausschöpfenden Trag- und Bauwerk, was damit als vorbildliches Werk angesehen werden muß. Auch die "Kinderkrankheiten" und das übergroße Vertrauen in die neue Bauweise können hieran anschaulich verdeutlicht werden.

Auf einem rechteckigen Grundriß von 19,80m mal 34,50 m überspannen den mittleren Bereich 4 halbkreisförmige Dreigelenkbogen-Binder im Abstand von 4,9m mit veränderlichem Doppel-T-Querschnitt. Die Giebelseiten werden durch 14m weit span nende Gratbinder und Halbbinder überspannt, welche über eine verstärkte Firstpfette die Horizontalkräfte der gegenüberliegenden Giebelseite ausgleichen.

Da zum einen die halbkreisförmige Binderform nicht der idealen Stützlinie für gleichmäßige, ständige Lasten entspricht und darüber hinaus die Schneelasten mit 180 kg/m² Grundfläche im Vergleich zur heutigen Norm als gering angesetzt waren, wurden die errechneten Spannungen von ca. 130 kg/cm² (=1,3KN/cm²) sicher erreicht, wenn nicht überschritten. Im Jahr 1917 wurden dann aufgrund der großen Verformungen 32 mm starke Stahl-Zugbänder in 6m Höhe eingebaut. Auch die schlecht belüfteten und fäulnisgeschädigten Binderfußpunkte mußten 1928 saniert werden. Hierbei wurden die abgesägten Bereiche durch ausbetonierte Stahlprofile ersetzt.

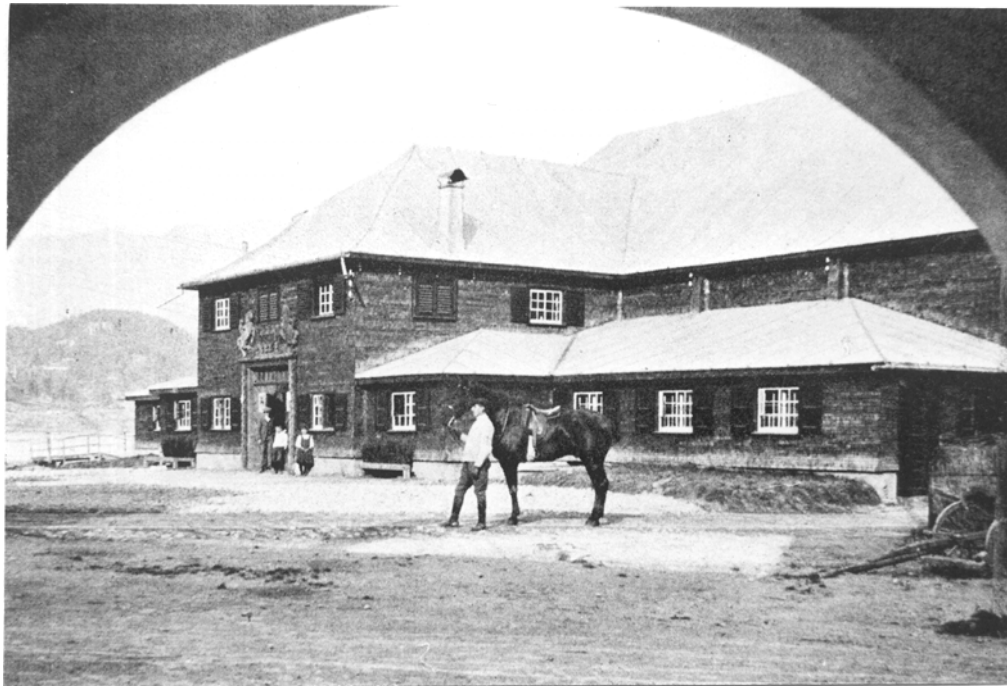


Abb.70 Reithalle in St. Moritz, Ansicht.

Im Eckbereich der Halle wurden ebenfalls 7,5m weitspannende doppel-T-förmige Pfetten eingesetzt. Das doppelt gekrümmte Walmdach wurde durch gebogene Hetzer-Sparren (10/8cm) erzielt.

Die Reithalle befindet sich heute trotz eines überdimensionierten Anbaues, der sich in den Dachüberstand einschneidet, in recht passablem Zustand. Im Rahmen der Grundinstandsetzung soll der ursprüngliche Zustand der Reithalle wiederhergestellt werden.

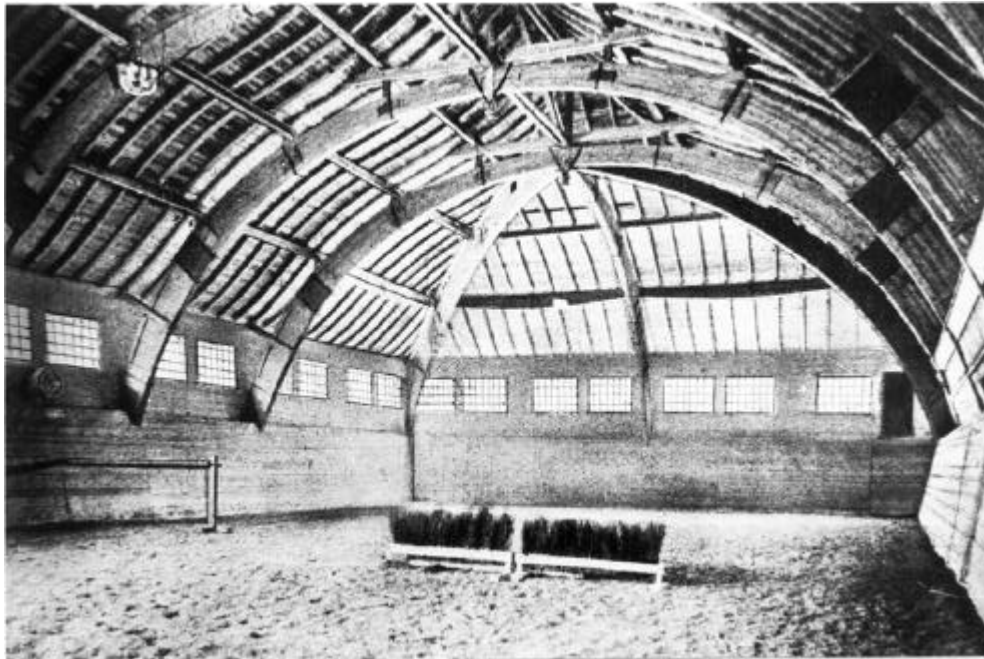


Abb.71. Reithalle in St. Moritz, Innenansicht.

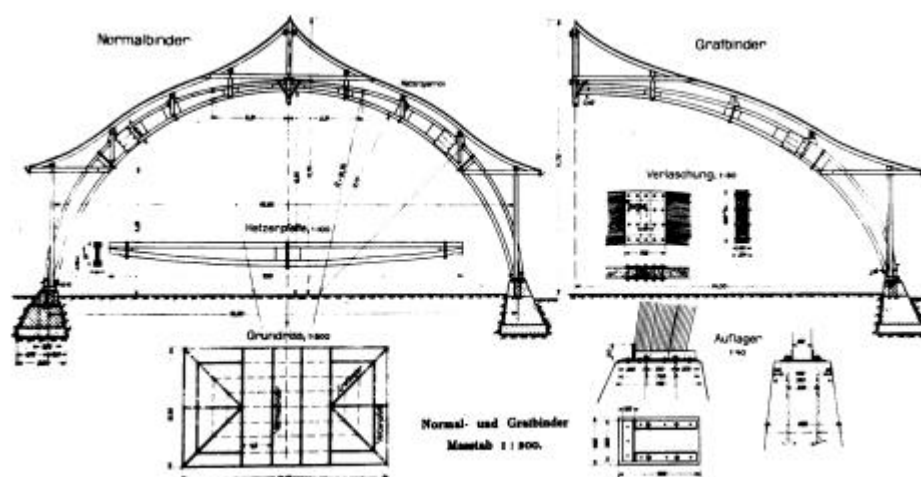


Abb.72. Reithalle in St. Moritz, 19,8m Spannweite, erbaut 1910
Grundriß, Schnitte, Details.

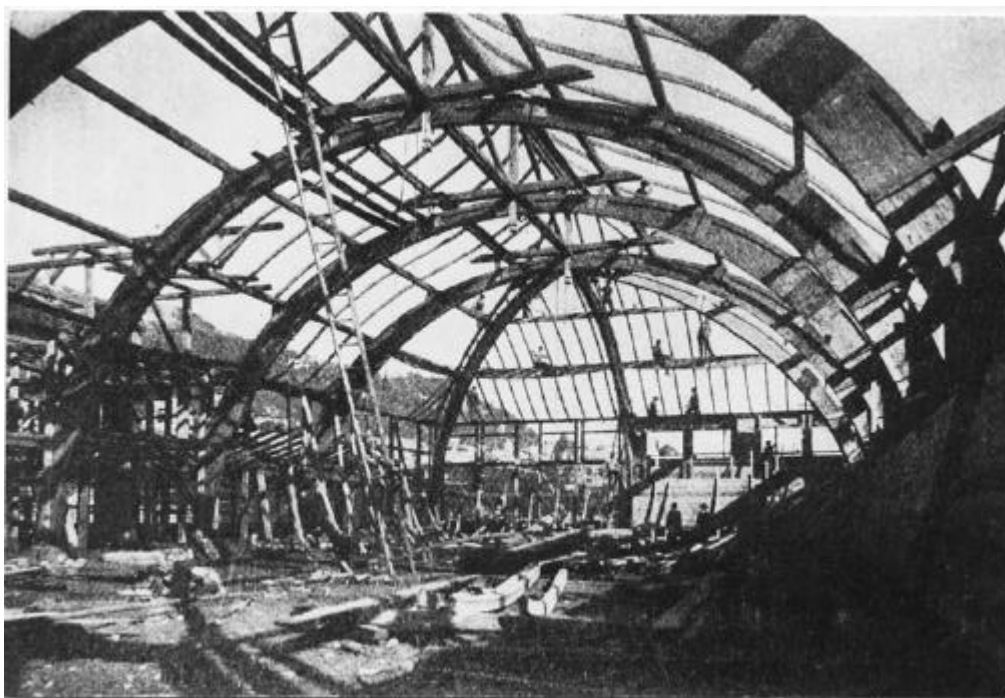


Abb.73. Reithalle in St. Moritz, Bauzustand.

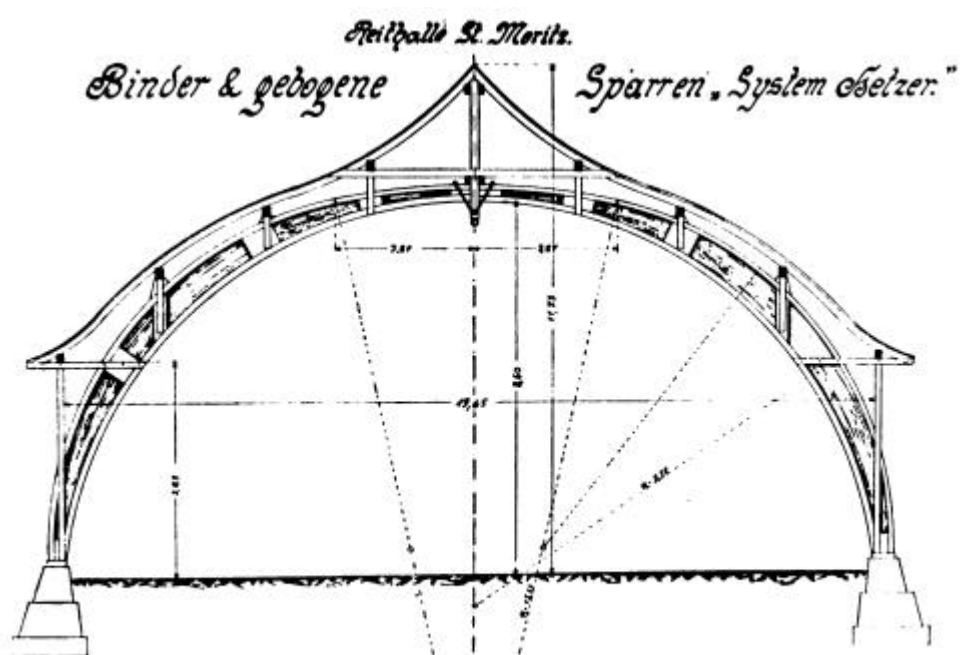


Abb.74. Reithalle in St. Moritz, Schnitt.



Abb.75. Reithalle in St. Moritz, Eingang.

Ein zweigeschossiger Holzlagerschuppen der Möbelfabrik Aschbacher entstand 1919 in Zürich als spitzer Dreigelenkrahn, dem die teils abgehängte Zwischendecke zugleich als Zugband dient. Die Binder standen bei einer Spannweite von 13,20m im Achsabstand von 4,5 m auf schon bestehenden Fundamenten. Die Zwischendecke mit einer Nutzlast von 12 KN/m² wurde von Hetzer-Balken (30/10cm) mit parabolischer Einlage getragen. Diese Halle stand in der Falkenstr. 28/30 und wurde trotz ihrer besonderen Tragwerksform um 1990 abgerissen.

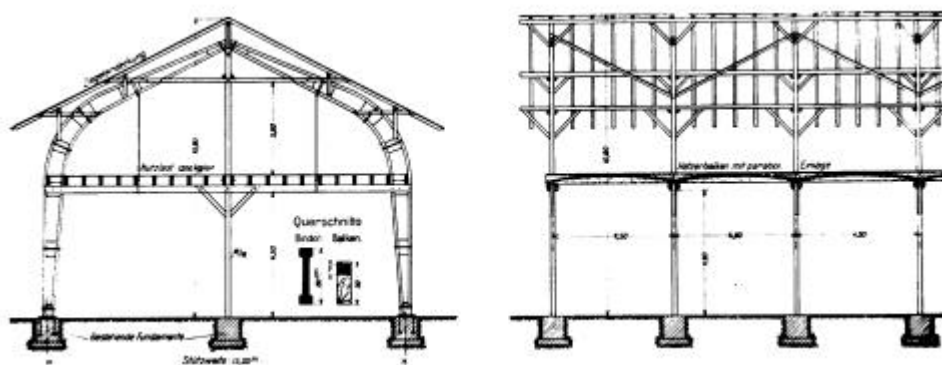


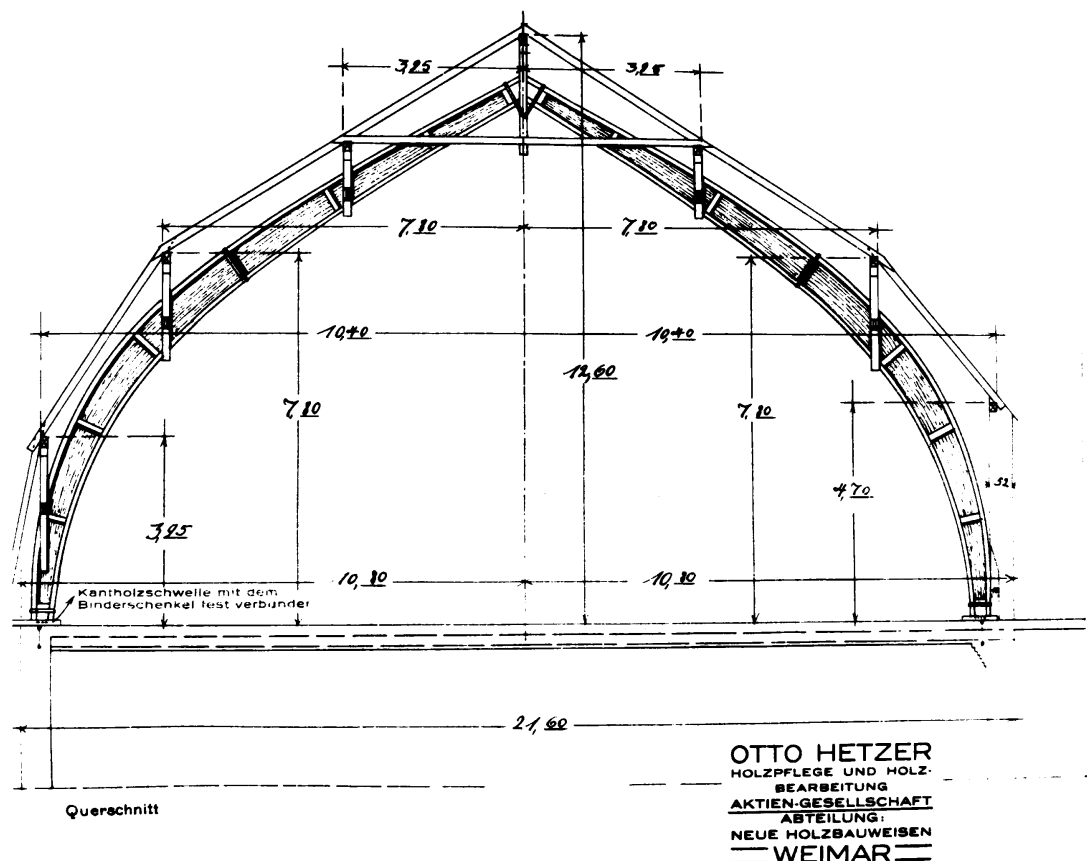
Abb.76. Holzlagerschuppen der Möbelfabrik Aschbacher in Zürich, 13,2m Spannweite, erbaut 1919, Querschnitt, Längsschnitt

Eine ähnliche Halle mit zwei Seitenschiffen muß 1910 in Skating Rink bei Genf entstanden sein .

Der erste spitze Dreigelenkbogen mit doppel-T-förmigem Querschnitt wird 1911 als Stallgebäude der Firma Gebr. Grünzel in Wernesgrün durch die Hetzer AG ausgeführt. Die Binder mit einer Spannweite von 20 m stehen im Abstand von 7,4 m. Die horizontalen Auflagerkräfte werden von der Geschoßdecke aufgenommen. Nachdem das Gebäude im Jahr 1918 abgebrannt war, wurde es 1921 ebenfalls durch die Otto Hetzer AG in Weimar wiederaufgebaut.

Hierbei wurde die Gesamthöhe des Binders von 11,55 auf 9,35m reduziert, wobei die maximale Querschnittshöhe nahezu erhalten blieb. Dafür wurde die Obergurthöhe von 8 cm auf 10 cm erhöht. Besonders ist hierbei auf die durchgehenden fast 15 m langen Obergurt- und Untergurtlamellen hinzuweisen. Im Rahmen des Kapitels über den heutigen Bauzustand alter Hetzer-Konstruktionen wird noch genauer auf dieses Bauwerk eingegangen.

Abb.77. Dachkonstruktion des Stallgebäudes in Wernesgrün, 20 m Spannweite, erbaut 1911, Querschnitt.



In derselben Spitzbogenform entstand im gleichen Jahr die temporäre Sängerfesthalle in Küsnacht bei Zürich mit einer Spannweite von 30 m. Die Dreigelenkspitzbögen mit rechteckigem Querschnitt (18/80cm) standen im Abstand von 5 m und hatten zusätzlich ein Zugband im oberen Drittel.⁵¹

Die Wahl dieser Tragwerksform erfolgte nicht zufällig, sondern war der idealen Stützlinie stärker als der des Halbkreisbogens angepaßt, wodurch geringere Momente auftraten, und so eine günstigere Ausnutzung des Querschnittes bei großer Spannweite ermöglicht wurde.

Die Gründung erfolgte aufgrund der befristeten Standzeit auf einem hölzernen Balkenrost. Eine gleiche Halle wurde 1924 für das Schützenfest in Aarau errichtet und 1933 in Bern wiederverwendet.

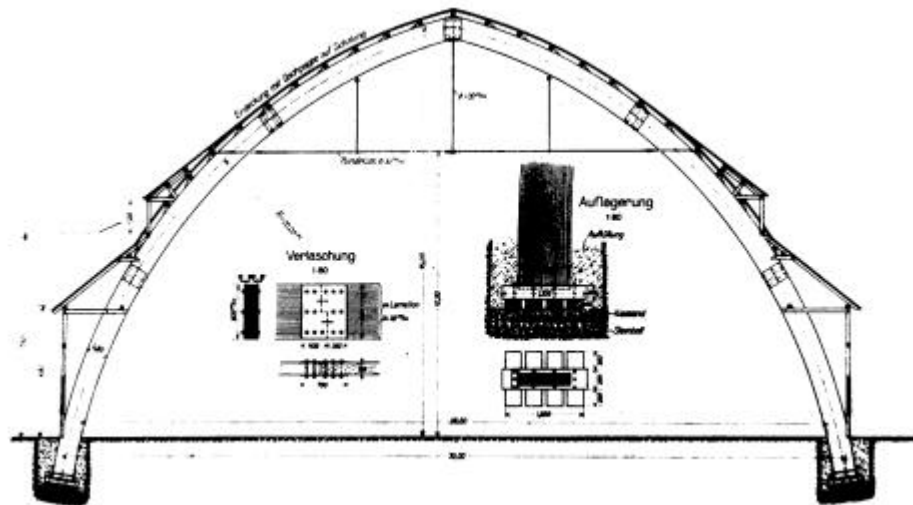


Abb.78. Sängerfesthalle in Küsnacht bei Zürich, 30m Spannweite, erbaut 1911, Querschnitt

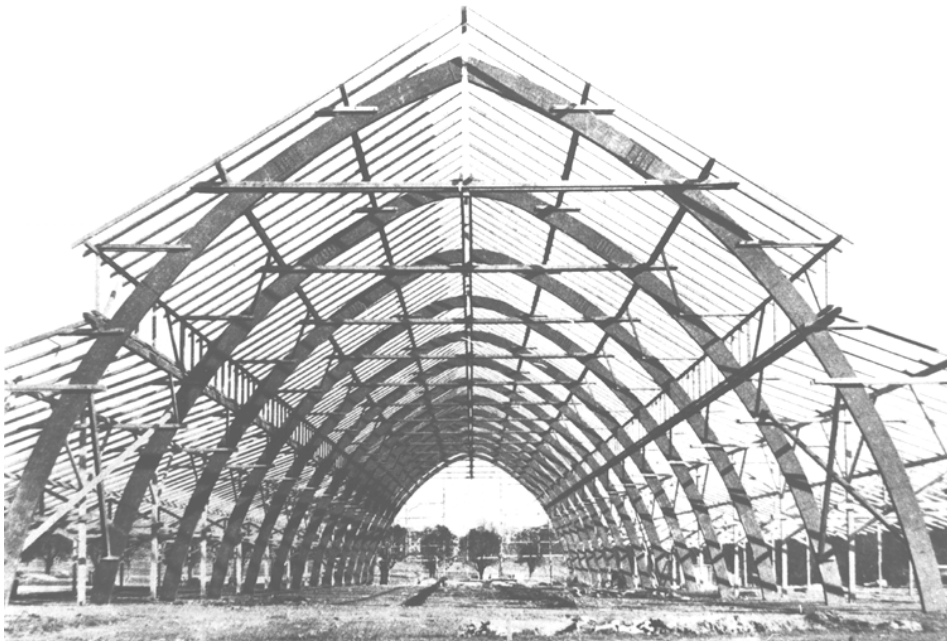


Abb.79. Sängerfesthalle in Küsnacht bei Zürich, Bauzustand.

In demselben Jahr (1911) begannen auch die ersten Arbeiten für die Lokomotivremise der Schweizer Bundesbahn auf dem Äbigut in Bern. Nach den bereits erwähnten unbefriedigenden Ergebnissen bei der Verwendung von Stahl bei Eisenbahnbauten kam es zur verstärkten Verwendung von Holz und damit eben auch der Hetzer-Bauweise.⁵²

So wurden spitze Dreigelenkrahmen ohne stählernes Zugband bei einer Spannweite von 20,79 m, 21,59 m und 24,82 m verwendet. Die Binder mit rechteckigem Querschnitt (bis 20/105 cm) stehen im Abstand von 5 m.⁵³ Die Anlage befindet sich heute noch in sehr gutem Zustand, obwohl sie teilweise ohne Holzschutzanstrich ausgeführt wurde.

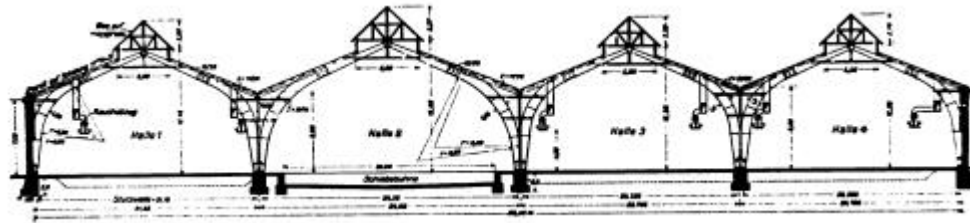


Abb.80. Lokomotivremise in Bern, 21-25m Spannweite, erbaut 1911, Schnitt

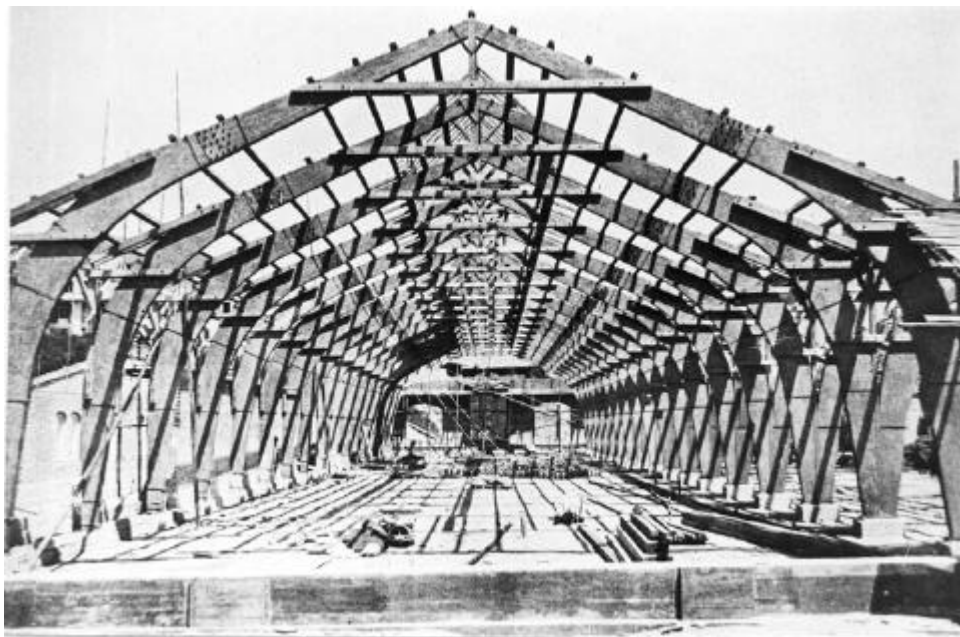


Abb.81. Lokomotivremise in Bern, Bauzustand.

Anlässlich dieses Baues wurden unter der Aufsicht des Kontrollingenieurs F.Hübner Traglastversuche an 2 Bindern im Maßstab 1:3 durchgeführt, welche 4 bis 5-fache Sicherheiten für die rechnerisch zugelassenen Biegespannungen von 80 KN/cm² ergaben. Die im Firstbereich vorhandenen hölzernen Zangen eines Binders brachen hierbei infolge Biegung. Sie beeinflussten das Tragverhalten der Dreigelenkbinder nur unwesentlich, weshalb sie beim zweiten Binder durchgeschnitten wurden. Aufgrund der beobachteten Trennungen der Leimfugen im Scheitelbereich ließ F.Hübner Schubfestigkeitsuntersuchungen an Hetzer-Balken (10(15)/25 cm) durchführen, welche Bruchspannungen von 33,5 - 46,2 kg/cm² (0,335

- 0,462 KN/cm²) ergaben, was damit 3 bis 4-fachen Sicherheiten nach der heutigen DIN 1052 für Brettschichtholz entspricht.^{54 55}

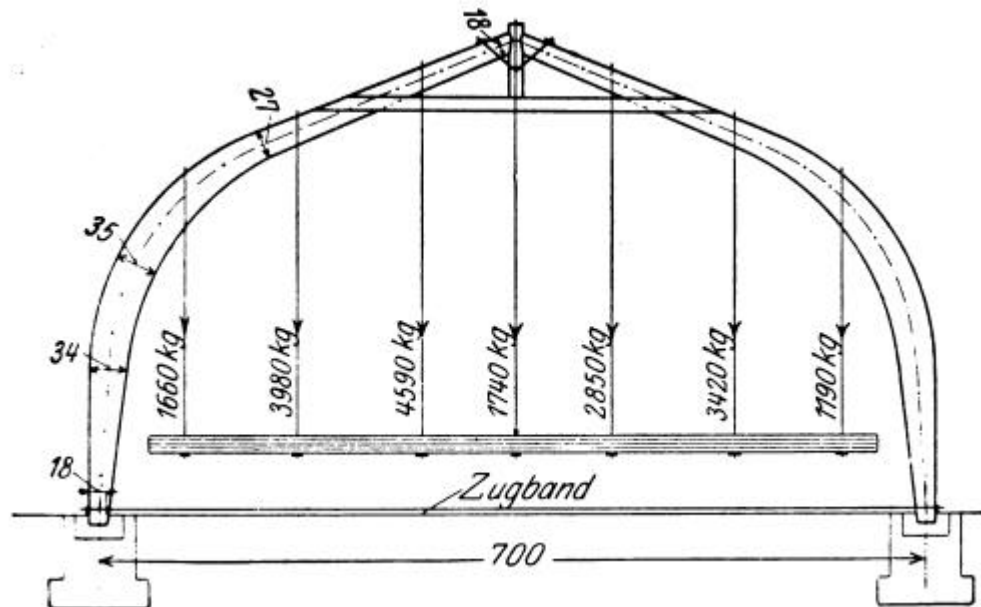


Abb.82. Durch Ch. Chopard vorgenommene Bruchversuche an Dreigelenkrahmen.

Für die Schweizer Landesausstellung in Bern im Jahr 1914 wurden ebenfalls spitze Dreigelenkrahmen im Binderabstand von etwa 7,0 m verwendet, die damit stützenfreie Ausstellungsflächen ermöglichten. Die Binder mit einem Rechteckquerschnitt (max. 16/100 cm) hatten eine Spannweite von 21,20 m. Die Gründung erfolgte auf einem eingegrabenen Schwellrost. Hetzer-Konstruktionen kamen bei den Hallen für Hochbau, Graphisches Gewerbe, chemische Produkte und Nahrungsmittel zum Einsatz. Besonders die zentrale Ausstellungshalle für Nahrungsmittel von Polac & Pollenc aus Montreux, deren Kuppel einen Durchmesser von 33 m hatte, verdient Beachtung. Als gestalterisches Element wurden diese Holzbauten durch Kunststein verdeckt, so daß nur der obere Teil der Kuppel über dem Hauptportal in seiner Form in Erscheinung tritt.^{56 57}

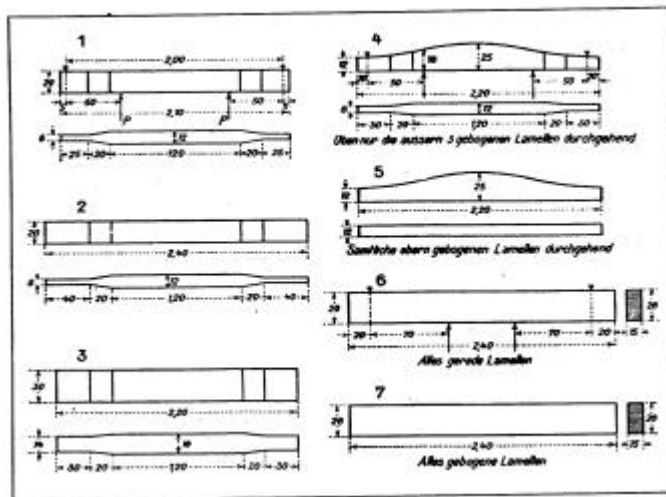


Abb.83. Durch F. Hübner an der EMPA in Zürich untersuchte Typen verleimter Biegebalken, 1919



Abb.84. Ausstellungspavillon für Nahrungs- und Genussmittel der Landesausstellung in Bern 1914, Ansicht.

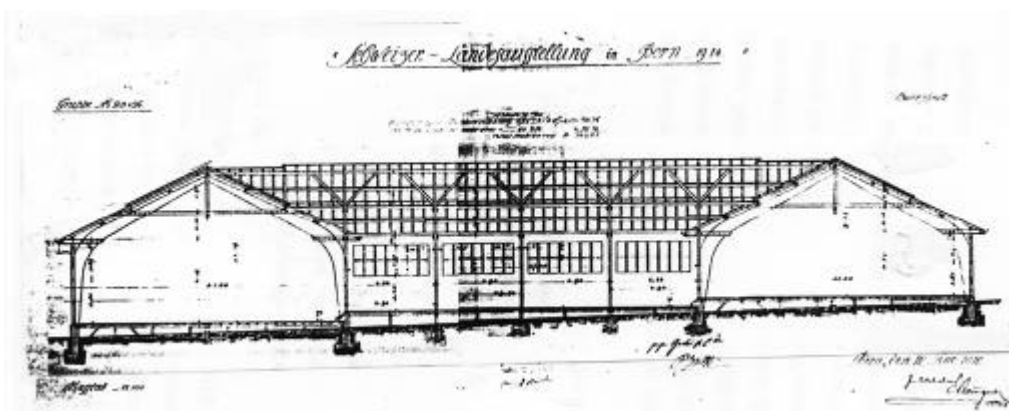


Abb.85. Ausstellungspavillon für Nahrungs- und Genussmittel der Landesausstellung in Bern 1914, Querschnitt.



Abb.86.a Portal

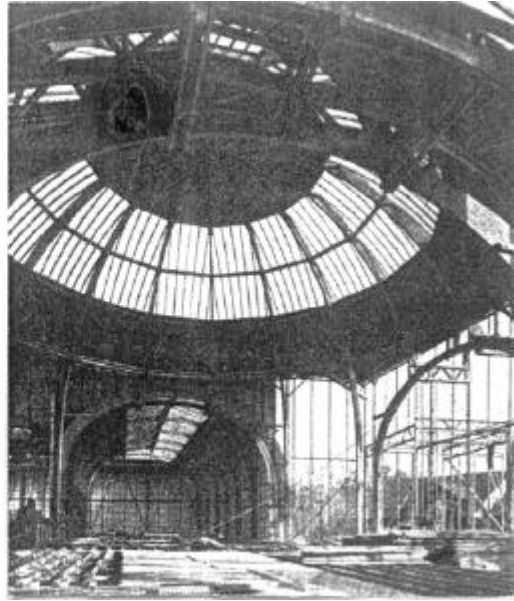


Abb.86.b Innenansicht im Bauzustand.

Ausstellungspavillon für Nahrungs- und Genußmittel der
Landesausstellung in Bern 1914.

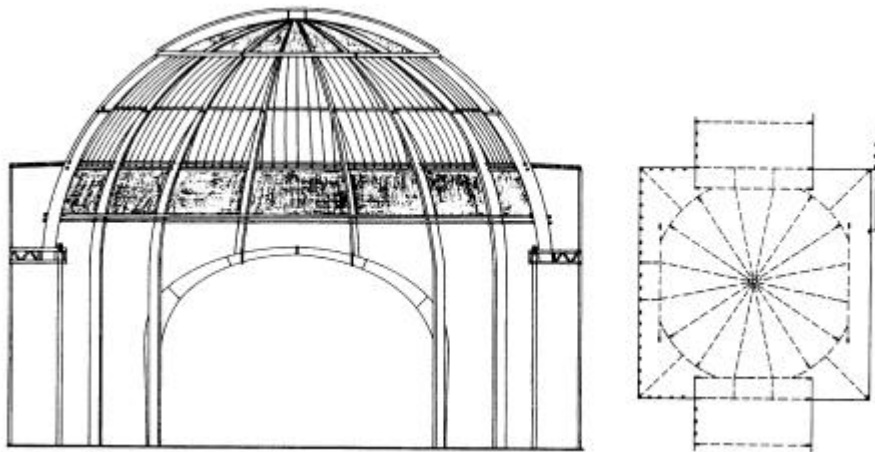


Abb.87. Rekonstruktion des Ausstellungspavillons für Nahrungs- und Genußmittel der
Landesausstellung in Bern 1914, 33m Spannweite, Schnitt, Grundriß



Abb.88. Schweizerische Landesausstellung in Bern 1914, Lageplan.

Ein ähnlicher Bau entstand in demselben Jahr (1914) für den Vergnügungspark in Hamburg Stellingen, heute Hagenbeck's Tierpark. Der 26,9 m im Durchmesser messende Rundbau diente als Kopfbau des Ausstellungspalastes. Die Binder waren rahmenartig ausgebildet mit einem Außenabstand von 5,4 m. Die Querschnittshöhe in der Rahmenecke betrug 84 cm. Das Gebäude wurde im 2. Weltkrieg zerstört.

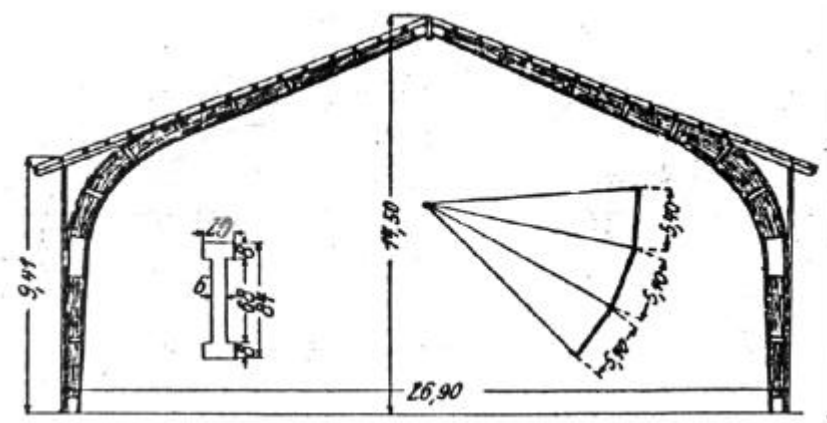


Abb.89. Ausstellungsgebäude Hagenbeck's Tierpark, 26,9m Spannweite, erbaut 1914, Schnitt

Aufgrund der in Bern gemachten guten Erfahrungen entschied man sich 1915 in Stuttgart bei der Überdachung der Schiebebühnenhalle am Rosenstein für dieselbe Bauweise bei einer Spannweite von 25 m. Nach Kostenvergleichen lagen Holzkonstruktionen etwa 50% günstiger als Stahl- und Stahlbetonkonstruktionen (12,- zu 20,- bzw. 22,-RM/m²)⁵⁸. Um den Aufwand des Tragwerkes noch zu minimieren, wurden die Binderabstände auf 10m verdoppelt und mit doppel-T-förmigen Hetzerpfetten überspannt, welche zugleich die gedrückten Binderuntergurte gegen Kippen aussteifen. Der feuerfeste Anstrich (Wetterfestonat) hielt aber dem starken Feuchtigkeitsanfall nicht stand. Korrosionserscheinungen an Stahlschrauben traten nur im luftzugänglichen Bereich, nicht dagegen im Holz auf. Die Halle fiel den Zerstörungen des 2. Weltkrieges zum Opfer.

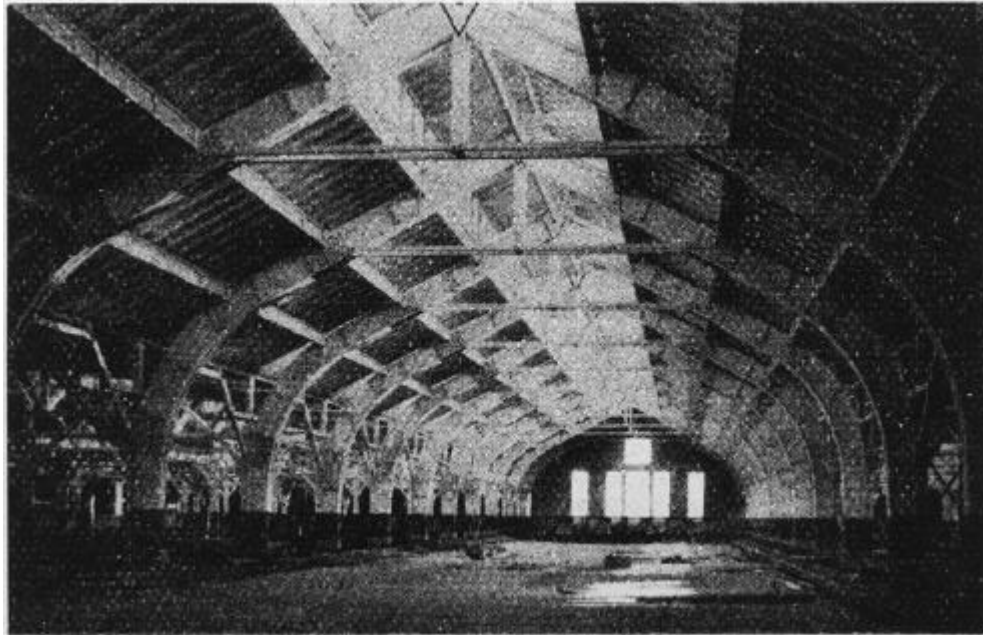


Abb.90. Schiebebühnenhalle am Rosenstein in Stuttgart, 25m Spannweite, erbaut 1915, Innenansicht.

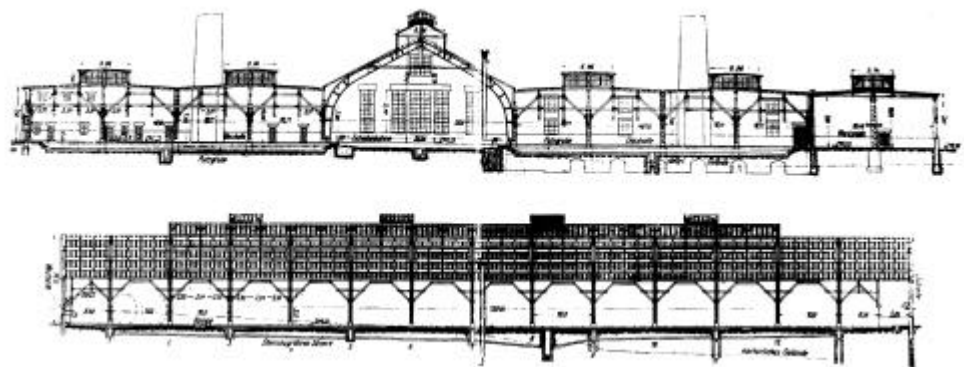


Abb.91. Schiebebühnenhalle am Rosenstein in Stuttgart, Quer- und Längsschnitt.

Zur Leipziger Baufach-Ausstellung entstand bereits 1913 eine ähnliche Konstruktion als Sporthalle, welche später als Provianthalle in Wilhelmshaven aufgestellt wurde. Die sieben etwas schwächer gekrümmten Dreigelenkrahn-Binder standen im Abstand von 6,25m und spannten über 25m. Die Binder hatten einen doppel-T-förmigen Querschnitt (max $h=1,1m$). Die horizontalen Auflagerkräfte werden durch ein unter dem Fußboden befindliches Zugband aufgenommen. Die First- und Seitenpfetten waren doppel-T-förmig ausgebildet. Die Hallenlängsaussteifung erfolgte über diese Pfetten, welche durch die Gratpfetten an den Giebelseiten gehalten wurden. Besondere Ausführung verlangten die zweifach gebogenen Kehlsparren der Dachfenster, die ebenfalls mit verleimtem Querschnitt ausgebildet waren. Die Herstellung benötigte 3 Wochen, die Zeit der Aufstellung nur 1 Woche.

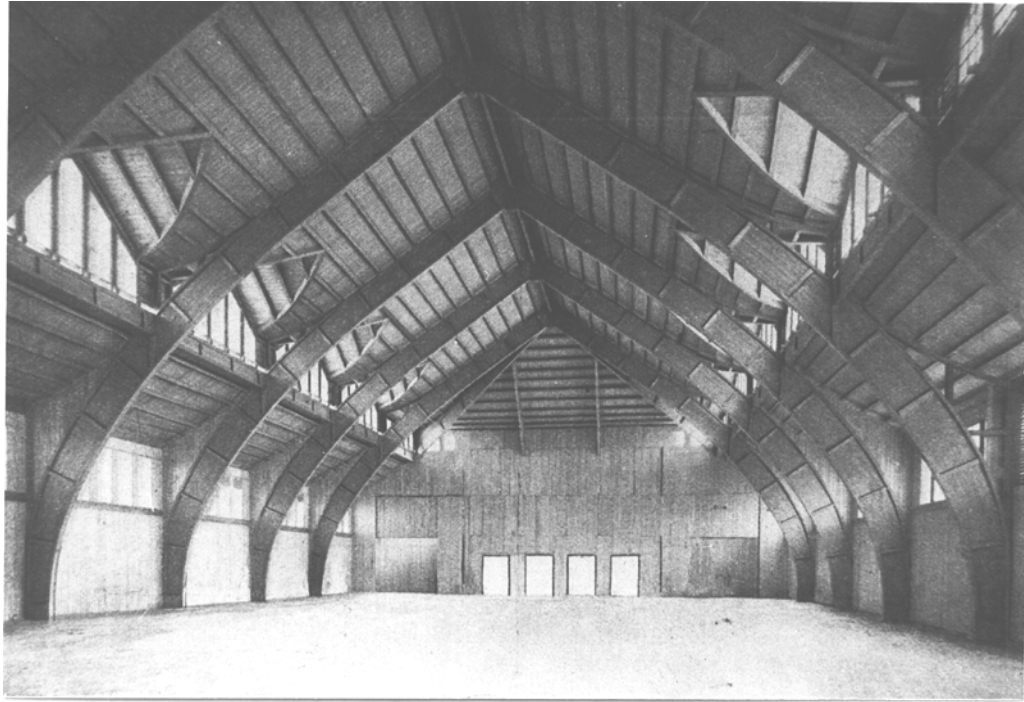


Abb.92. Sporthalle auf der Baufachausstellung in Leipzig 1913, Innenansicht.

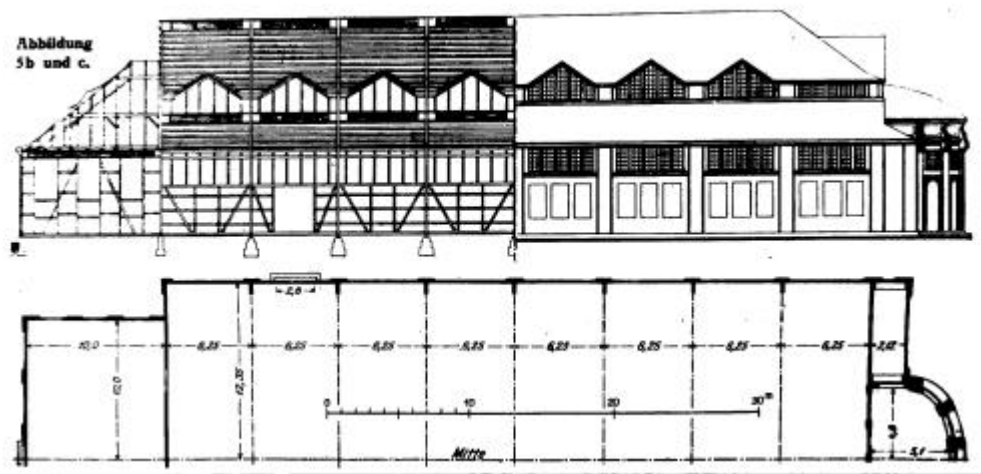


Abb.93. Sporthalle auf der Baufachausstellung in Leipzig 1913, 25m Spannweite, Querschnitt, Längsschnitt, Grundriß.

Bei den Nachforschungen in Wilhelmshaven fand sich eine Hetzer-Konstruktion aus demselben Jahr (1913), deren Binder aber rahmenartig mit Unterspannung ausgebildet sind. Diese ehemalige Exerzierhalle, heute Kraftfahrzeughalle des Katastrophenschutzes, hat eine Gesamtlänge von über 100 m. Die über 20 m weitspannenden Binder stehen im Abstand von 8m auf Mauerwerkswänden und Betonpfeilern auf. Leider wurde beim Umbau für die Kraftfahrbereitschaft im Jahre 1935 eine abgehängte Decke eingezogen, wodurch der ursprünglich imposante Raumeindruck nur noch im Dachbereich sichtbar ist.

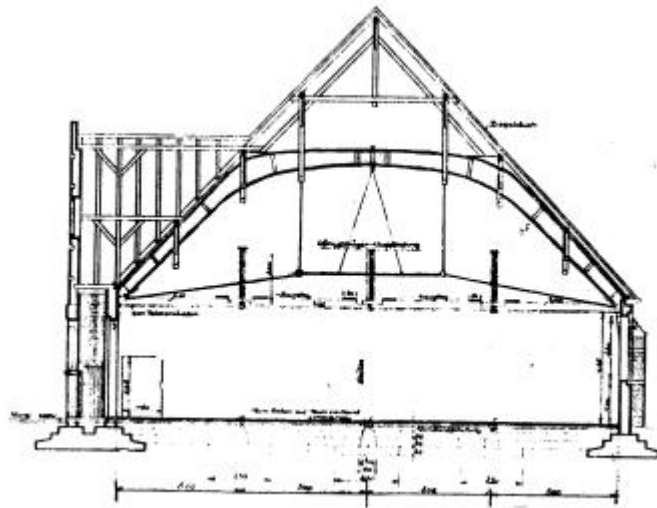


Abb.94. Exerzierhalle in Wilhelmshaven, Schnitt, 20m Spannweite, erbaut 1913.

Eine ähnliche Werkshalle entstand 1916 mit Rechteckquerschnitten für das Zellulosewerk in Attisholz durch das Ingenieurbüro Turner & Chopard (Bestand ungeklärt).

Eine dreischiffige Montagehalle der Maschinenfabrik AG Olma in Olten wurde 1918 gebaut. Der geknickte Zweigelenkbogen spannte 18m weit, und die Seitenschiffe wurden mit parabelförmigen Trägern überspannt (6,5m). Diese Halle wurde durch Brand zerstört und abgebrochen.

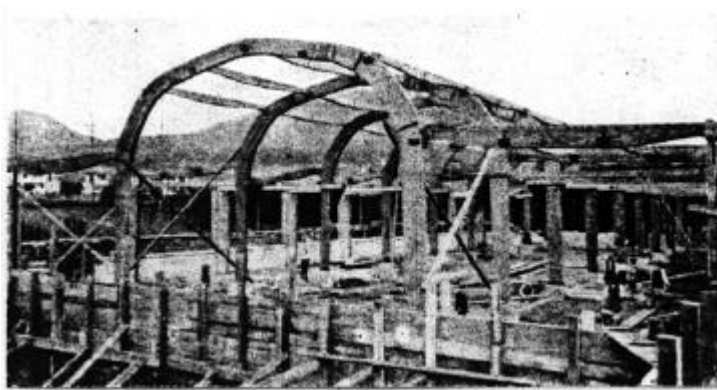


Abb.95. Maschinenfabrik in Olten, 6,5/18/6,5m Spannweite, erbaut 1918, Bauzustand.

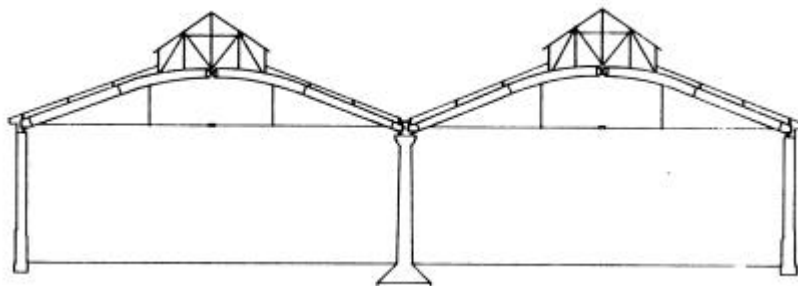


Abb.96. Straßenbahndepotanlage Dreispitz, Basel, 21,5m Spannweite, erbaut 1915, Schnitt.

In Basel wurde 1915 die Straßenbahndepotanlage "Dreispitz" durch den Architekten R. Leisinger gebaut. Die Planung der Hetzer-Binder wurde auch von der Schweizer AG für Hetzer'sche Bauweisen ausgeführt. Die 92m lange und 43m breite zweischiffige Halle wird überspannt durch zwei parabelförmige Zweigelenk-Bogenbinder mit abgehängtem stählernen Zugband. Die Binder stehen im Abstand von 7 m und haben einen Rechteckquerschnitt von 18 x 60 cm. Der Binderabstand wird ebenfalls mittels Hetzer-Pfetten (15/32 cm) überspannt. Noch heute befindet sich das Depot in bestem Zustand und voller Benutzung.

Zu derselben Zeit entstanden auch "Bumerang"-förmige flache Dreigelenkbinder für den Flugzeughangar in Dübendorf 1918 und die Maschinenhalle der S.B.B. in Bellinzona 1919-20.

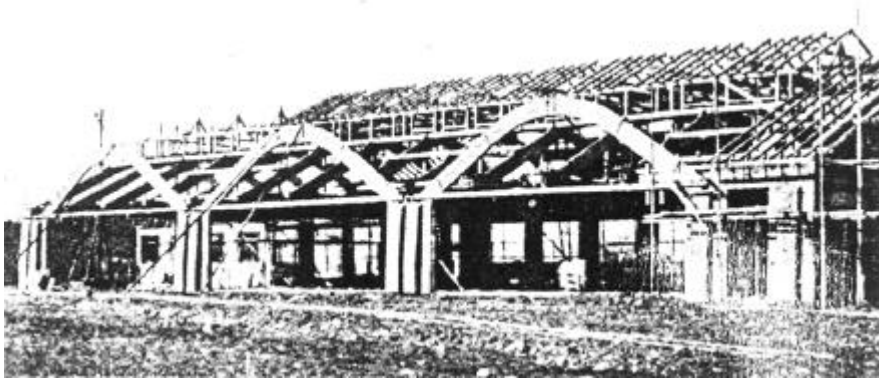


Abb.97. Flugzeughalle Dübendorf, Torbinder 15m, Querbinder 20m Spannweite, 1918, Bauzustand

Ein großer Verwendungsbereich für Holzhallen aufgrund ihrer nicht vorhandenen Korrosionsanfälligkeit stellt auch die Kaliindustrie dar. So entstand 1914 ein 96 m langer Rohsalzspeicher für das königliche Salzwerk Staßfurt auf dem Gelände des Berlepsch-Schachtes. Die Zweigelenk-Binder haben eine Spannweite von 30 m und stehen im Achsabstand von 5 m. Typisch für diese Bauten ist, daß sie etwa 5 m im Erdreich eingegraben und mit massiven Widerlagern ausgebildet sind. Dadurch konnte erheblicher Raum ohne nennenswerten zusätzlichen Aufwand geschaffen werden. Das Gebäude ist heute noch erhalten und soll als Baumaterialrecyclinghalle Wiederverwendung finden.

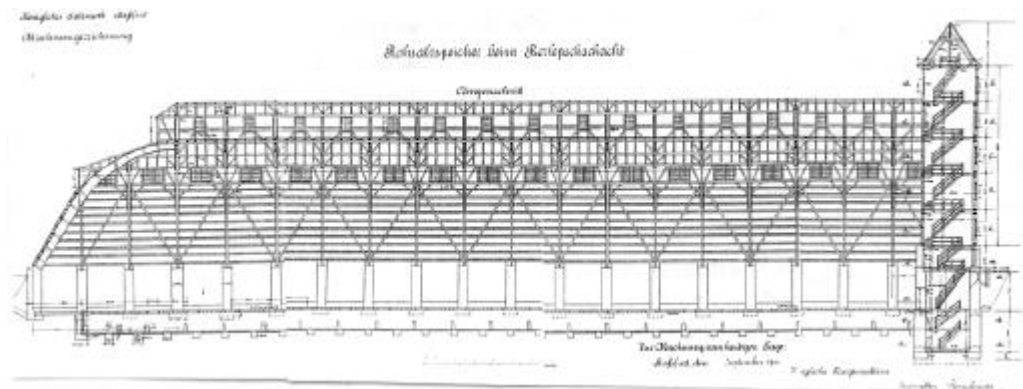


Abb.98. Rohsalzspeicher beim Berlepschschacht in Staßfurt, erbaut 1914, Längsschnitt.



Abb.99. Rohsalzspeicher beim Berlepschschacht in Staßfurt, Innenansicht.

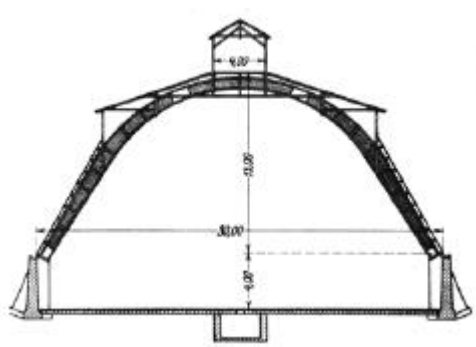


Abb.100. Rohsalzspeicher beim Berlepschschacht in Staßfurt, 30m Spannweite, erbaut 1914, Querschnitt.

2.6.4 Brücken

Das Vertrauen in die Hetzer'sche Bauweise war von Anfang an so groß, daß bereits im Jahr 1910 das Büro Turner & Chopard zwei Brücken aus parabelförmigen Hetzer-Bindern errichtete. So entstand in Beaulieu bei Lausanne für die Eidgenössische Landwirtschaftliche Ausstellung eine 20,5 m weit spannende Fußgängerbrücke. Der aufgeständerte Fußweg lagerte auf zwei Doppelbindern (2x12/50 cm), welche mit einem diagonalen Aussteifungsverband (14/16 cm) versehen waren. Die Brücke war für Verkehrslasten von 350 kg/m² bemessen und wurde später wieder abgebaut.⁵⁹

Dazu im Gegensatz war die Brücke über die Wiese bei Basel von Beginn an für eine Nutzungszeit von 15-20 Jahren dimensioniert. Sie spannte mit ihrem obenliegenden Zweigelenk-Parabelbogen über 33 m bei einer Stichhöhe von 5 m ($f/L=1/7$), wobei die Horizontalkräfte am Auflager durch ein Zugband aus Flußeisen aufgenommen wurden. Der Fußweg wurde alle 3,3 m an den Doppelbindern (2 x 14/60cm) abgehängt. Der Achsabstand der Doppelbinder betrug 2,8 m. Oberhalb der Durchgangshöhe waren sie durch einen Aussteifungsverband gehalten. Die maximale Spannung infolge einseitiger Verkehrslast habe im Binder 66 kg/cm² (0,66 KN/cm²) betragen.⁶⁰ Als Witterungsschutz des Binders dienten ein Anstrich mit Carbolineum und Abdeckbleche. Die Brücke wurde durch das Basler Zimmergeschäft Riesterer - Asmus erstellt.

Trotz einer relativ geringen vorhergesagten Lebensdauer konnte sich diese Hetzer-Konstruktion aus Kostengründen durchsetzen. Eine Stahlbetonkonstruktion hätte annähernd das Doppelte gekostet (17000,-/9300,-Fr.), wobei die späteren Unterhaltungs- und Reparaturkosten den Kostenvorteil drastisch verschlechterten. Die Verstärkungen an den Auflagern und deren besserer Schutz im Jahr 1919 kosteten bereits allein 3500,-Fr. . Schon 1922 wurden Reparaturmaßnahmen am Windverband, am Belag und an den Querträgern erforderlich, welche nochmals 2900,- Fr. kosteten. Aber auch diese Maßnahmen hielten nur wenige Jahre vor, so daß die Brücke im Jahr 1928 abgebrochen werden mußte und durch eine Stahlbrücke ersetzt wurde.⁶¹

Aufgrund dieses eher unbefriedigenden Witterungsverhaltens kam es daher kaum zum Bau von weiteren ungeschützten, ständigen Brücken in Holzleimbauweise.

Bei den temporären Brücken oder Schalungsgerüsten wurden verleimte Bogenbinder häufiger eingesetzt, so auch für die Mauerwerksbrücke über die Schöllenen bei Göschenen im Jahr 1915, deren Stützweite 27 m betrug.⁶²

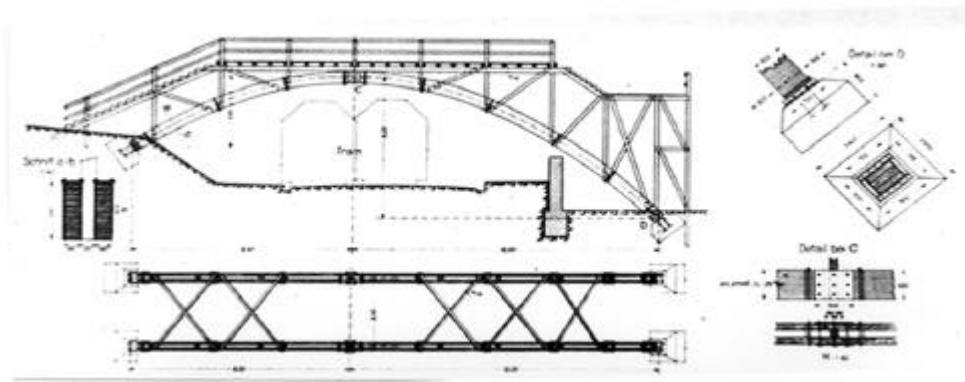


Abb.101. Temporärer Fußgängersteg bei Lausanne, 20,5m Spannweite, erbaut 1910, Seitenansicht, Grundriß, Details.

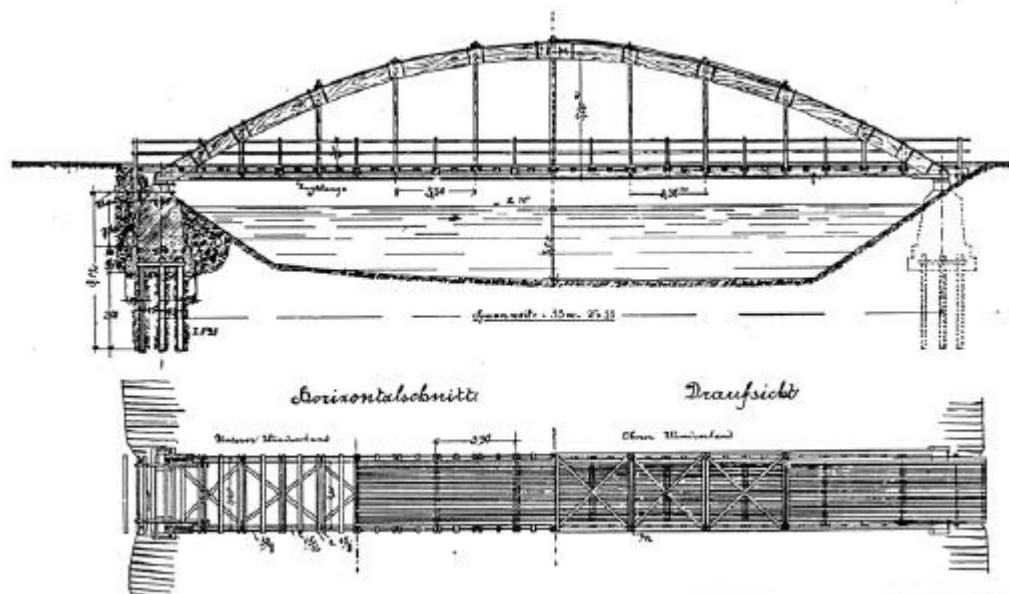


Abb.102. Brücke über die Wiese bei Basel, 33m Spannweite, erbaut 1910, Seitenansicht, Horizontalschnitt, Draufsicht.



Abb103. Tessinbrücke bei Dazio grande 1919.

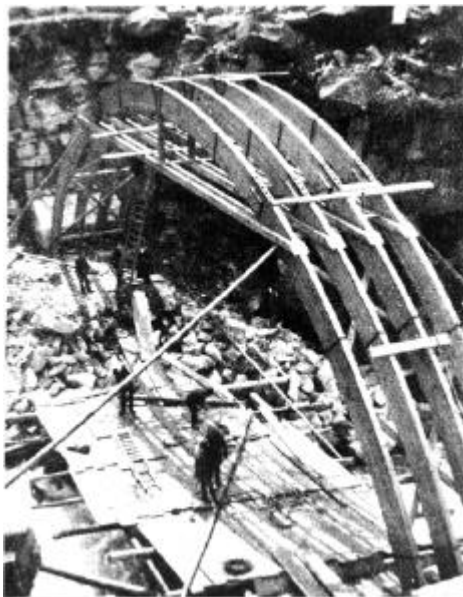


Abb.104. Lehrgerüst für eine Mauerwerksbrücke über die Schöllenen bei Göschenen 27m Spannweite, erbaut 1915.

2.7 Folgerungen

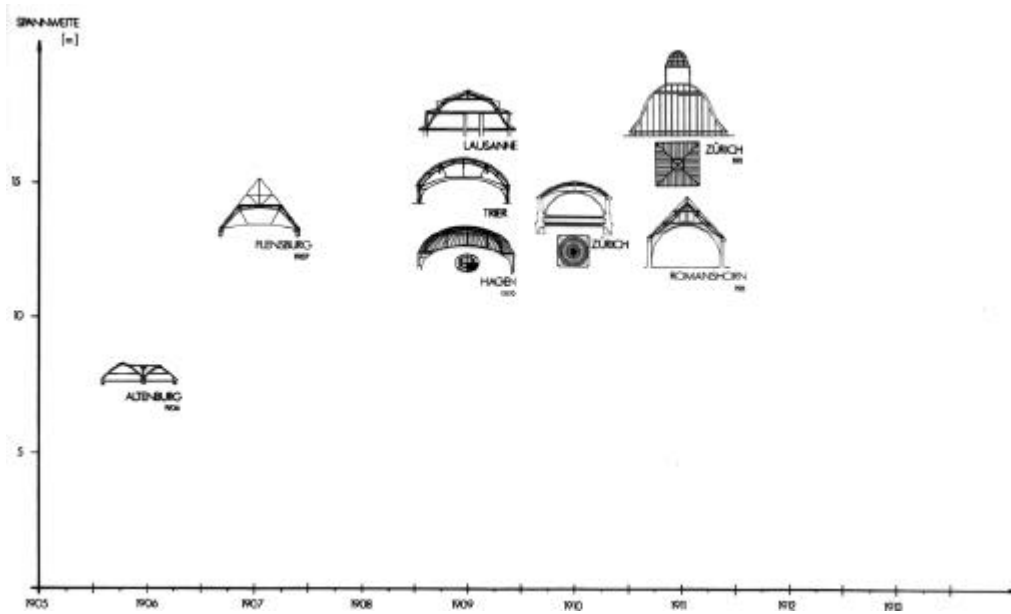
Wenn man bedenkt, daß die im vorigen dokumentierten über 30 Bauwerke alle in den 10 Jahren zwischen 1908 und 1918 entstanden sind, muß man von einem großen Erfolg der neuen Holzleimbauweise sprechen. Die anfänglichen Schwierigkeiten mit einer Festlegung der zulässigen Spannungen und den Problemen mit dem konstruktiven Holzschutz konnten die Entwicklung nicht verhindern.

Der Spannweite der Holztragwerke war keine Grenze mehr gesetzt, die in der Länge der Baumstämme begründet war, sondern wurde nur noch durch den Herstellungsprozeß und die Transportbedingungen bestimmt .

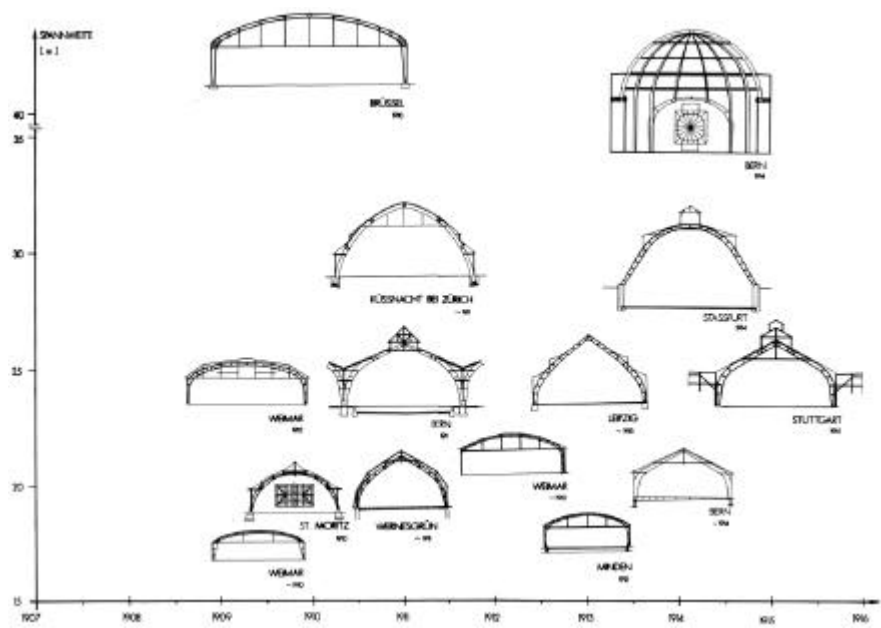
Die nun folgende Entwicklung wird besonders in der Erhöhung der Spannweite liegen. Darüber hinaus wurde bisher die Krümmung der Bauteile nur in einer Ebene vorgenommen, so daß die Herausforderung in der Herstellung räumlich gekrümmter Tragwerke bestand.



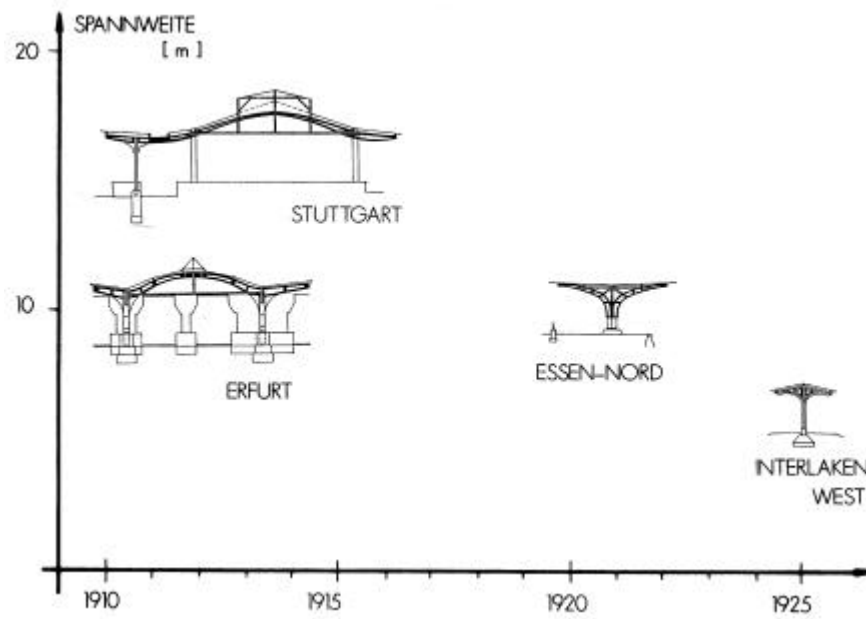
Tafel 1: Übersichtskarte ausgeführter Holzleim-Bauwerke bis 1918.



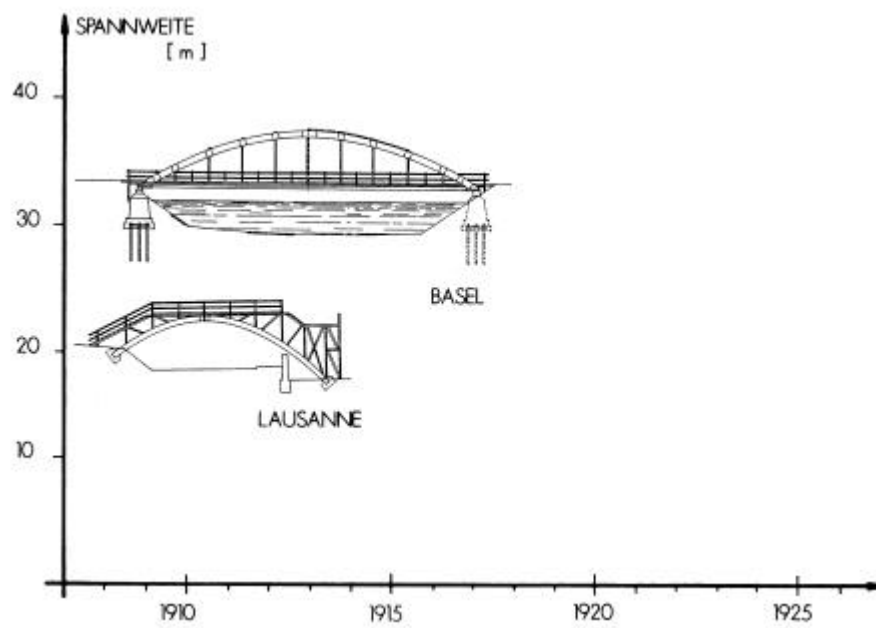
Tafel 2: Übersicht der Dachkonstruktionen bis 1918.



Tafel 3: Übersicht der Hallen bis 1918.



Tafel 4: Übersicht der Bahnsteigüberdachungen bis 1925.



Tafel 5: Übersicht der Brücken bis 1925

3.0 Weiterentwicklung nach dem 1. Weltkrieg bis zur Gegenwart

3.1 Analyse der europäischen Entwicklung

3.1.1 Skandinavien

In Dänemark baute die in Kopenhagen ansässige Firma Kornerup-Koch seit 1914 Holzleimkonstruktionen in Lizenz.

In der Nähe von Oslo arbeitete seit 1918 auch die Firma A / S Tragkonstruktionen auf der Grundlage der Hetzer'schen Patente. So entstanden zum Beispiel Bahnsteigüberdachungen wie in Trondheim.

In Schweden gründete sich die AG Tragkonstruktion 1919 in Töreboda. Hauptaktionär war der Großhändler Sören Christian Monrad in Stockholm. Schon 1922 entstanden vier je 17,90m weit spannende Bahnsteighallen in Malmö, welche mit einer Querbahnsteighalle verbunden waren. Die Bogenbinder stehen im Abstand von 8,67m und sind mit einem angehobenen Zugband unterspannt.

Nach Konkurs und Wiedergründung entstand 1925 dann der Centralbahnhof in Stockholm.⁶³



Abb.105. Anzeige der Firma Kornerup -Koch

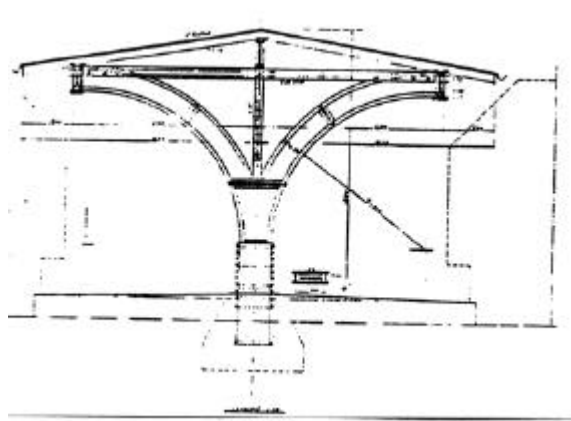


Abb.106. Bahnsteigüberdachung in Trondheim



Abb.107. Bahnhof in Malmö, Innenansicht der Querbahnsteighalle 17,9m Spannweite erbaut 1922

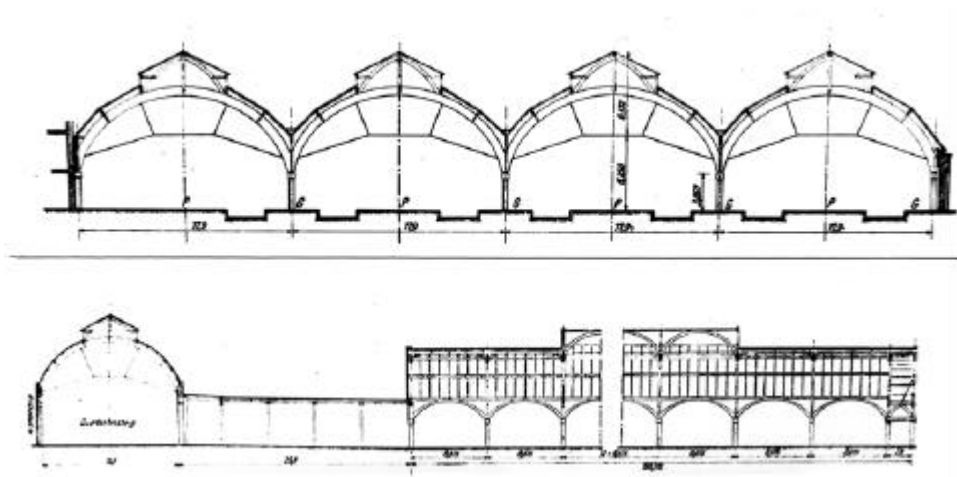


Abb.108. Bahnhof in Malmö, Quer-, Längsschnitt

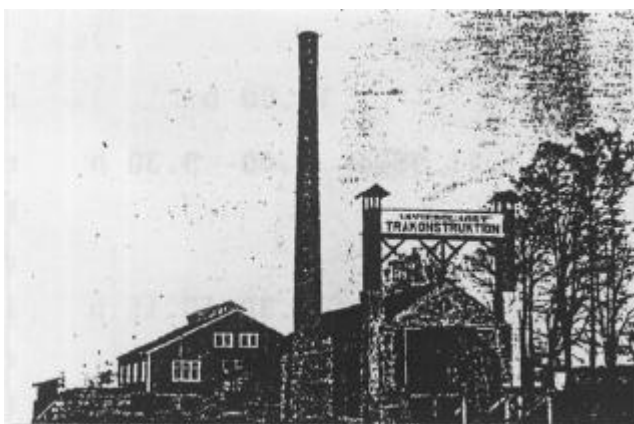


Abb.109. Firmengelände in Töreboda um 1920



Abb.110. Querbahnsteighalle in Stockholm

3.1.2 Holland - Firma NEMAHO

Aufgrund der schwierigen wirtschaftlichen Umstände nach dem ersten Weltkrieg in Deutschland kam es zu einem starken Auftragsrückgang bei der Otto Hetzer AG in Weimar. So wurde zum Beispiel der Bau neuer Flugzeug- und Luftschiffhallen durch das Verbot des Baues von Flugzeugen noch 1921 verhindert.⁶⁴

Vor diesem Hintergrund sind auch die geschäftlichen Beziehungen zum Ausland, in diesem Fall nach Holland, zu sehen. Bereits 1920 entstand bei dem Bau einer Fabrikhalle für Elektromotoren in Doetinchem der erste Kontakt zwischen der Otto Hetzer AG und dem Holzhändler G.J.Horsting. Diese Verbindung führte zur Gründung der Firma Nemaho, welche in technischer Hinsicht von dem deutschen Ingenieur H.Stork und von wirtschaftlicher Seite durch A. Ankersmit vertreten wurde. Zum Aufbau des Betriebes wechselten die Mitarbeiter Ebert, Koch und Schmidt aus Weimar zur Firma Nemaho.(s. Abb.111)⁶⁵

In den ersten Jahren war die Verbindung noch so eng, daß zum Beispiel die Binder der Ausstellungshalle für die R.A.I. in Amsterdam 1922 in Weimar hergestellt wurden. (s. Abb.111)

In den dreißiger Jahren exportierte die Firma Nemaho auch große Hallen nach Suriname, Antillen, Columbien, einen Flugzeughangar nach Curacao und eine Kunstdüngerfabrik nach Durban in Südafrika.

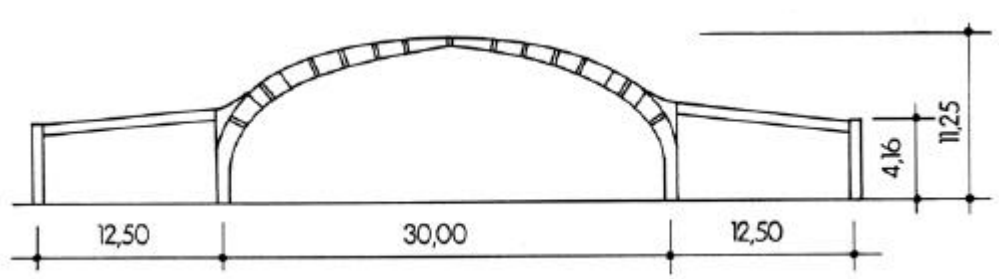


Abb.111. Ausstellungshalle für die R.A.I. in Amsterdam, erbaut 1922, Schnitt

3.2 Analyse ausgewählter nationaler und internationaler Tragwerksbeispiele

3.2.1 Bogenbinder-Hallen

Neben vielen anderen Holzkonstruktionen wie Kirchendächern, Scheunen und Türmen, welche die Nemaho in den Jahren 1922 bis 1945 baute, sollen besonders die großen Hallen beschrieben werden, da diese immer größere Spannweiten erreichten.

Schon die Ausstellungshalle für die R.A.I. im Jahr 1922 hatte mit ihrem Grundriß von 187m Länge und 55,1 m Breite gewaltige Ausmaße. (s. Abb.112)

Das Hauptschiff der dreischiffigen Halle hatte zwar nur 30 m Spannweite, aber dies bei einer Höhe von nur 11,25 m (Sängerfesthalle ~ 15m). Die Binder standen im Abstand von 6,75m. Eine ähnliche Halle mit etwas kleineren Ausmaßen entstand für die Blumenausstellung in Utrecht, deren große Spannweite 24m betrug.(s. Abb.114) Zum Bau einer dreischiffigen Viehmarkthalle in s'Hertogenbosch kam es 1929, deren Abmessungen 70x87,5m betrugen. Die parabelförmigen Binder hatten eine Spannweite von 30 und 20 m und standen im Abstand von 6,75m. Im Jahr 1938 wurde die Anlage mit einer 50 m weitspannenden Halle mit 13 m Höhe erweitert. Die maximale Binderhöhe betrug 1,42 m. Die Widerstandsfähigkeit der Binder wurde 1947 bei einem Brand unter Beweis gestellt. Die Halle steht heute noch.(s. Abb.118)

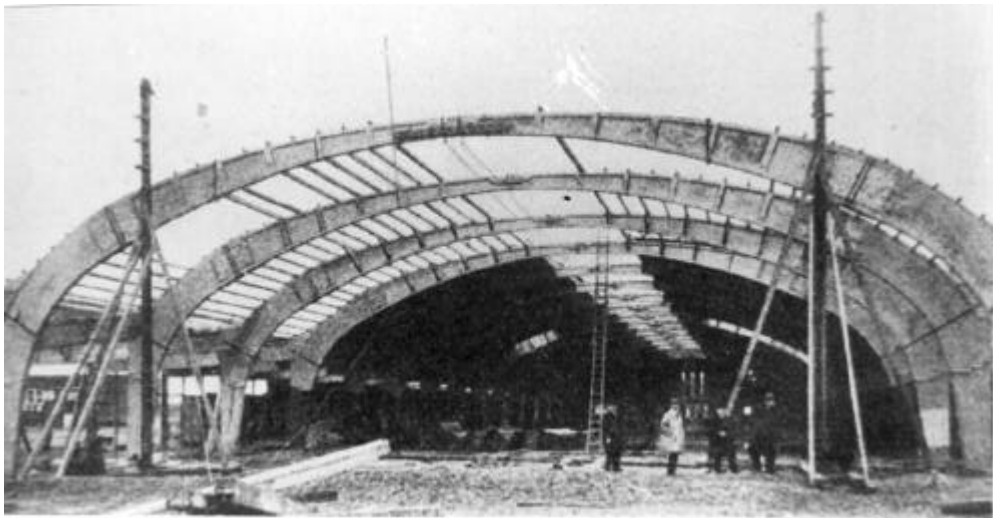


Abb.112. Ausstellungshalle für die R.A.I. in Amsterdam, erbaut 1922, Bauzustand.

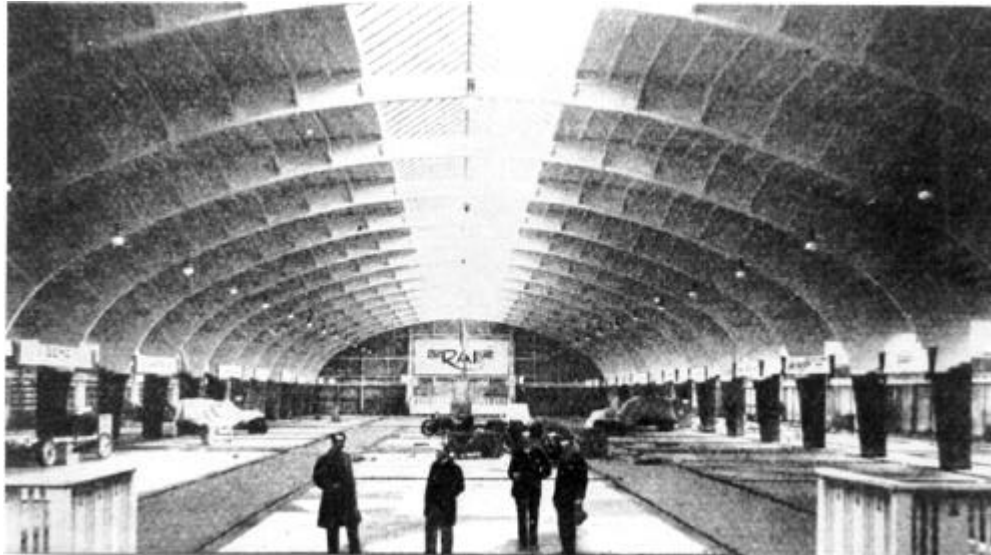


Abb.113. Ausstellungshalle für die R.A.I. in Amsterdam, Innenansicht.



Abb.114. Blumenhalle in Utrecht, Innenansicht.



Abb.115. Blumenhalle in Utrecht, Bauzustand .

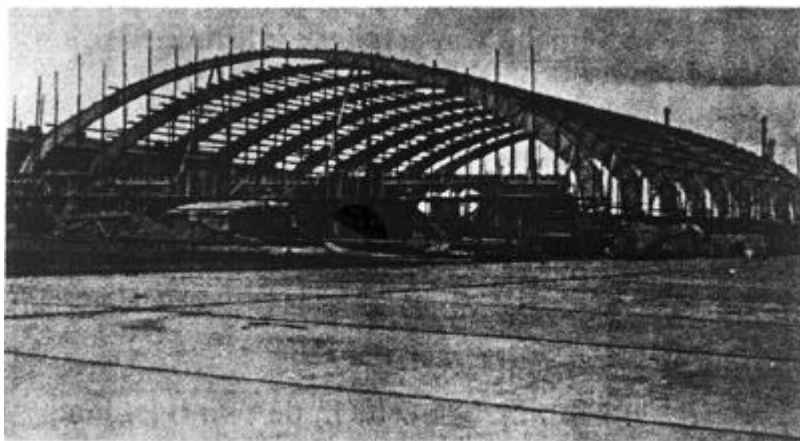


Abb.116. Viehmarkthalle in s'Hertogenbosch , 30m Spannweite, erbaut 1930, Bauzustand.

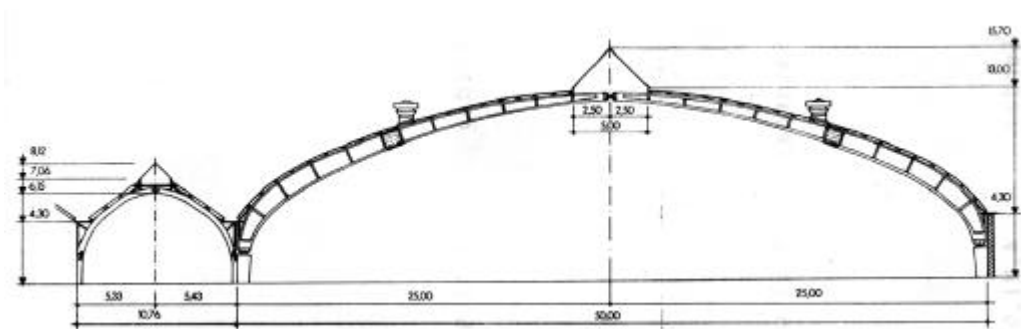


Abb.117. Viehmarkthalle in s'Hertogenbosch, 50m Spannweite, erbaut 1938, Schnitt.

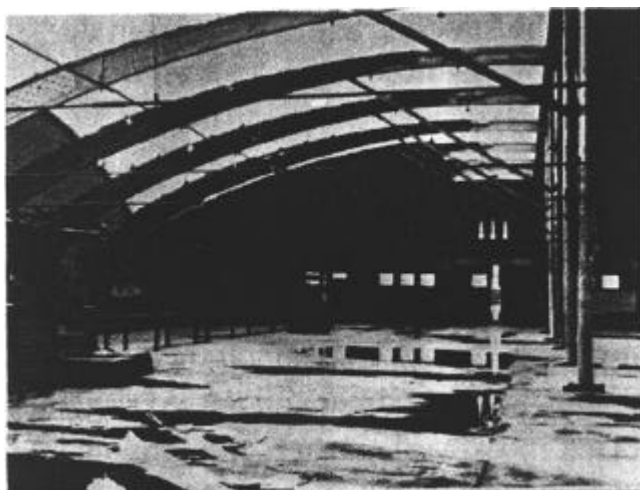


Abb.118. Viehmarkthalle in s'Hertogenbosch, 50m Spannweite, nach Brand 1947.

1938 baute die Nemaho zusammen mit dem Architekten Erwin Schottländer in Bogota, Kolumbien, einen Salzlagerschuppen von 29,6m Spannweite. Der Dreigelenkrahmen hatte einen doppel - T- förmigen Querschnitt mit einer maximalen Höhe von 84 cm. Zu derselben Zeit entstand ebenfalls eine 32 m weit spannende Halle für die Kunstdüngerfabrik in

Vlaardingen in Durban, Südafrika. Die parabelförmigen Dreigelenkbögen mit einer Höhe von 16 m hatten eine maximale Querschnittshöhe von 1,24m (Binderabstand ungeklärt). Nach 1945 entwickelten sich die Geschäftsbeziehungen zu Kolumbien in großem Ausmaße. So wurde 1946-48 in Bogota die seinerzeit größte Fabrikhalle mit 68 m Spannweite gebaut. Die Höhe der Binder betrug 15 m. Die aus 6 Bauteilen zusammengesetzten parabelförmigen Binder standen im Abstand von 6,57 m. Eine etwas kleinere Halle wurde 1952 als Flugzeughangar in Barranquilla mit 51,3 m Spannweite im Abstand von 6,0m gebaut.¹¹ (s.Abb.120) In Bogota entstanden 1954 ebenfalls 2 Ausstellungshallen mit 60m Spannweite im Abstand von 6,25m. (s. Abb.119)

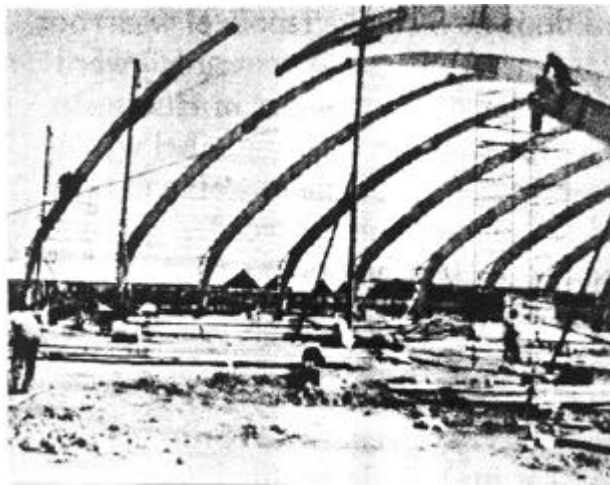


Abb.119. Fabrikhalle in Bogota, Kolumbien, 68m Spannweite, erbaut 1946-48, Bauzustand.

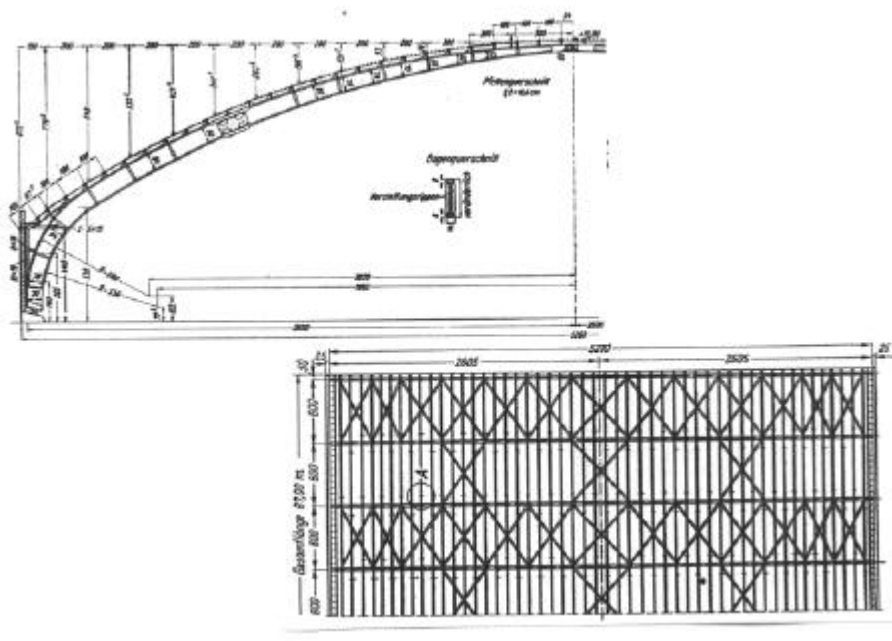


Abb.120. Flugzeughangar in Barranquilla, 51,3 m Spannweite, erbaut 1952, Schnitt, Grundriß.

Die größte bis 1979 von Nemaho gebaute Halle wurde 1968 in Leiden (Groenvordhal) mit 75m Spannweite erstellt. Die kreisförmigen Doppelbinder haben rechteckige Querschnitte mit 14 cm Breite und 100 - 230 cm Höhe. (s. Abb.122)

Die bogenförmige Binderkonstruktionen erreichten in den 60er Jahren ihre größten Spannweiten mit um die 100 m. Sie wurden in der Regel zwei- oder dreigelenkig ausgeführt, wobei die Anzahl der Stöße von den jeweiligen Transportbedingungen abhing.

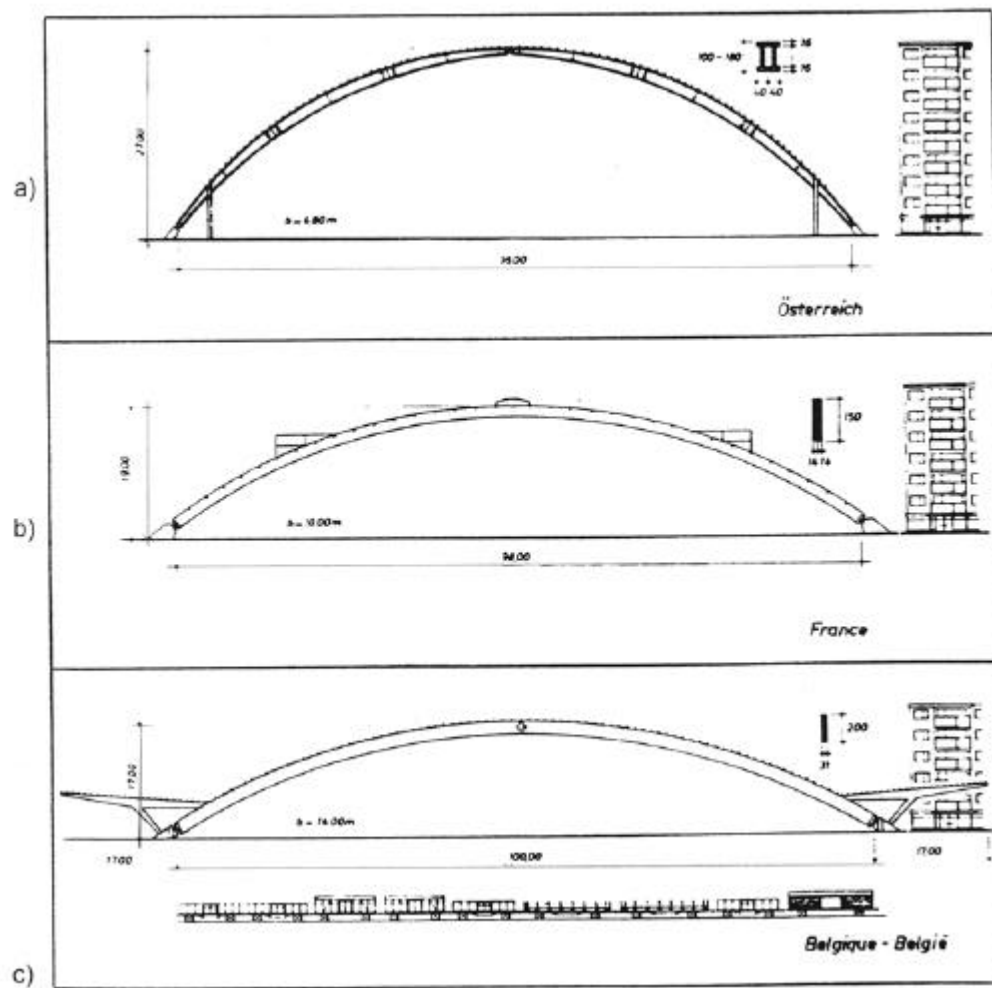


Abb.121. Größte ausgeführte Dreigelenkbogenkonstruktionen aus Massivquerschnitten

a) 96m Spannweite, Dreigelenkbogen

b) 98m Spannweite, Zweigelenkbogen

c) 100m Spannweite, Dreigelenkbogen

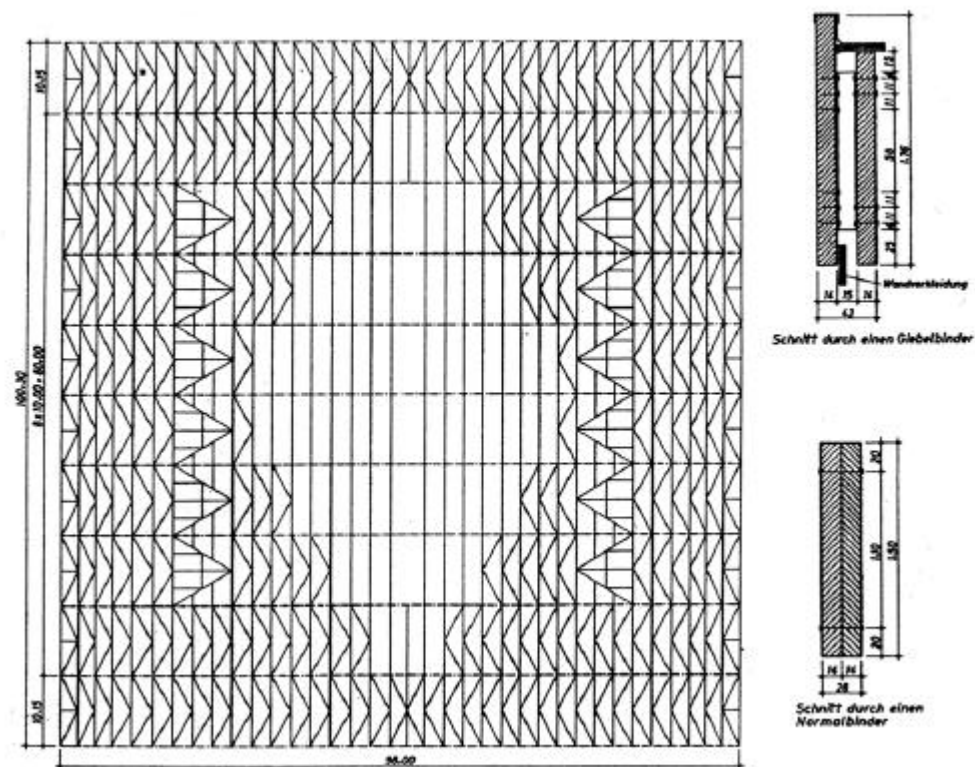
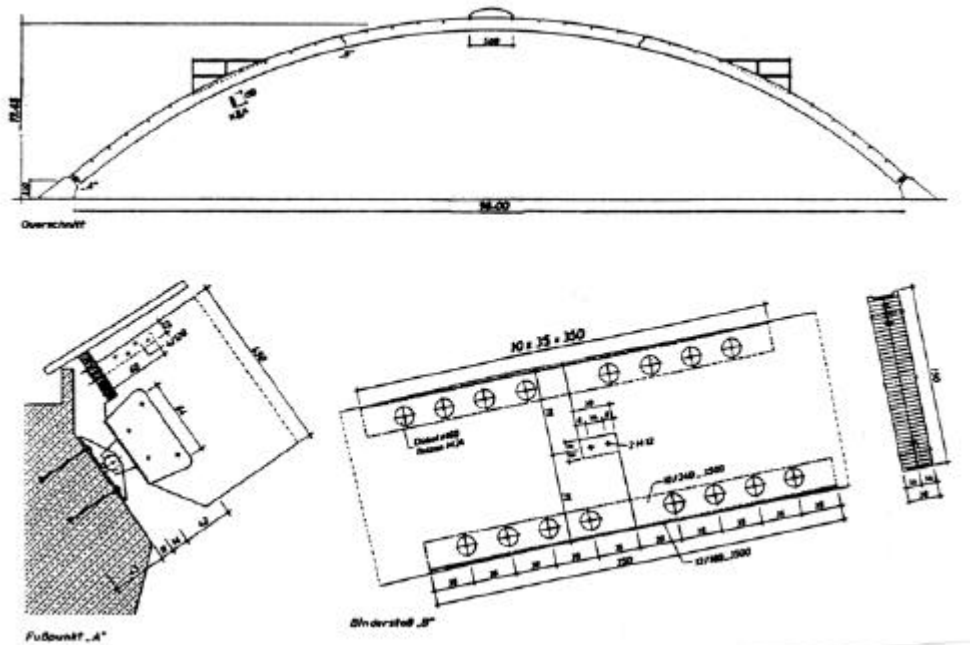


Abb.122. Halle in Tours, Frankreich, 98m Spannweite, erbaut 1962, Schnitt, Grundriß, Details.

In Tours, Frankreich, entstand 1964 eine Ausstellungshalle mit 98 m Spannweite. Die im Abstand von 10 m stehenden parabelförmigen Binder wurden als Zweigelenk-Bögen mit zwei Montagestößen ausgebildet. Die Binder selbst sind zweiteilig mit je 14/150 cm

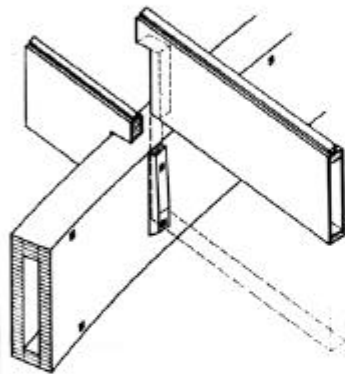
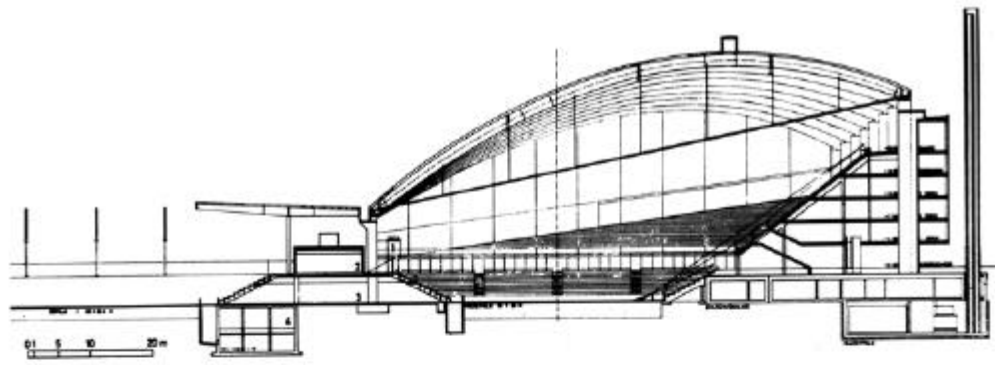
Querschnittsabmessungen dimensioniert. Die Giebelbinder wurden darüber hinaus noch höher (1,76m) und zur Erhöhung der Querbiegesteifigkeit gespreizt ausgebildet. Damit waren auch die Grenzen ästhetisch verträglicher Querschnittsabmessungen erreicht, wenn nicht gar überschritten.

Der große Binderabstand verursacht für die Pfetten große Spannweiten, so daß sie in den steileren Dachbereichen mittig diagonal abgestützt werden müssen, um nur einachsig auf Biegung beansprucht zu werden. Gleichzeitig dienen sie im Bereich der Giebelpfetten als k-förmige Stabilisierungs- und Aussteifungsverbände.⁶⁶

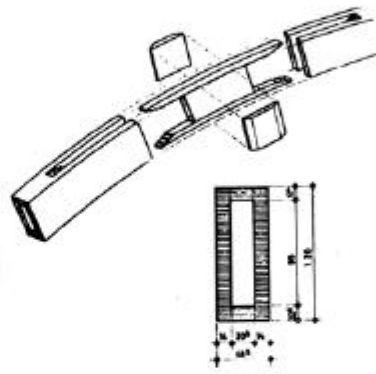
Bei der Eislaufhalle in Bern wurden 1970 76-86 m weitspannende Bogen-Binder verwendet, deren Auflager eine Höhendifferenz von über 10 m haben.(s. Abb.123)

Die schräg angebrachten Zugbänder sind konstruktiv zwar verständlich, führen aber zu einem stark einseitig betonten Raum, der durch die Zugbänder sehr unruhig zerschnitten wird. Zur Stabilisierung der kastenförmigen 1,20m hohen Binder dienten massive Querträger, welche mittels Helikopter eingesetzt werden mußten.

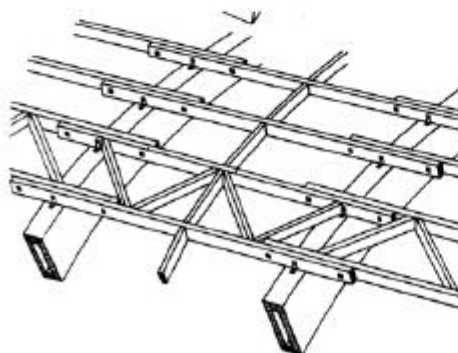
In den stärker geneigten Dachbereichen wurden die Koppelpfetten durch liegende Fachwerkträger vor Querbiegung bewahrt.(s. Abb.123 c))



a)



b)



c)

Abb.123. Eisslaufhalle in Bern, Schnitt, 76-86m Spannweite, erbaut 1970
Details a) Pfettenstoß, b) Binderstoß, c) Teilisometrie

3.2.2 Rautendächer

Eine räumliche Weiterentwicklung der Binder-Pfetten-Bauweise stellt die bereits erwähnte Zollinger-Bauweise dar. Ab 1918 konnte Fritz Zollinger diese sparsame Bauweise im großen Umfang zur Schaffung von Wohnraum in Merseburg einsetzen.⁶⁷ Hierbei entstanden vor allem sehr gut ausbaubare stützenfreie Spitztonnendächer mit bis zu 14 m Spannweite. Die Verbindungen der einzelnen Rippen wurden in der Regel mit einem Bolzen ausgeführt.^{68 69}(s. Abb.13a)

Beim Bau der Halle Münsterland 1947 mit einer Spannweite von immerhin 36 m wurden die einzelnen 2,39 m langen Lamellen bereits mit zwei Bolzen verbunden.(s. Abb.124) Das geschah deswegen, weil es sich gezeigt hatte, daß bei jeder Abweichung der Form von der idealen Stützlinie unter Eigengewicht und Schnee und bei jeder unsymmetrischen Belastung wie zum Beispiel Wind eine Biegebeanspruchung der Schale eintritt. Diese Beanspruchung führt aber bei gelenkigem Anschluß zu einer Torsionsbeanspruchung der Lamellen, die große Verformungen zur Folge hat.⁷⁰ Daher kam es zu einem Absenken des Daches um mehr als 80 cm, was etwa 10% der Stichhöhe entsprach.(s. Abb.124).Die Sanierung erfolgte durch die Überbauung durch ein Raumstabwerk, so daß nur noch der Innenraumeindruck erhalten blieb, nicht mehr aber die Tragwirkung.

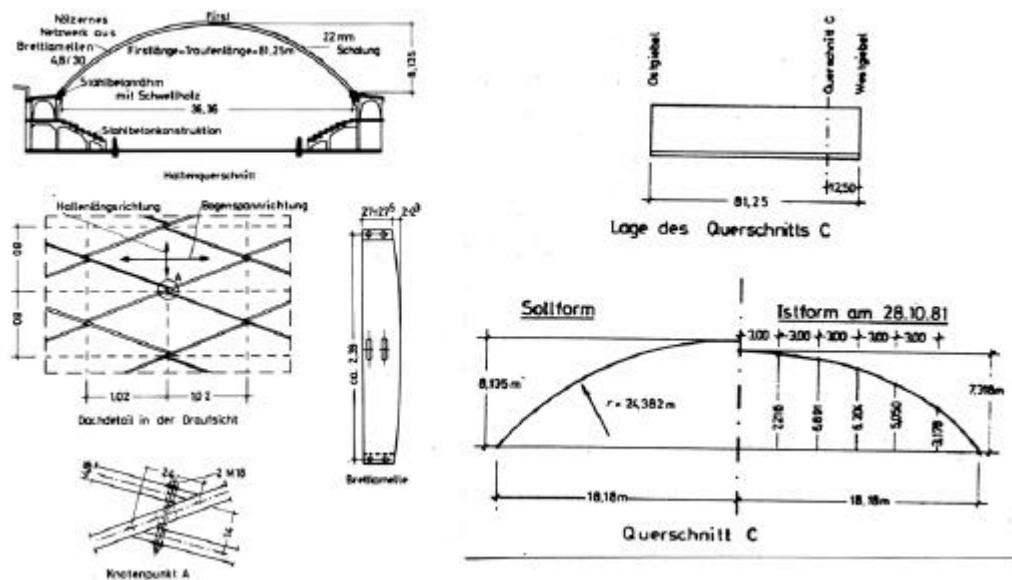


Abb.124. Halle Münsterland, Querschnitt, Draufsicht, Knotenpunkt, Brettlamelle, Verformungsbild.⁷¹

Alle diese Erfahrungen flossen 1989 in die Ausbildung der Dachkonstruktion der doppelstöckigen Sporthalle in Berlin-Charlottenburg ein. Aus der senkrechtstehenden Brettlamellenbauweise entwickelten die Architekten Baller, das Ingenieurbüro Pichler in Zusammenarbeit mit der TU Berlin eine rautenförmige Rippenschale mit 23 m Spannweite.(s. Abb.125) Der Abstand der einzelnen Rippen wurde auf 2m erhöht und in zweiachsig gekrümmter Brettschichtholzbauweise hergestellt. Die in der Anzahl dadurch reduzierten Verbindungspunkte wurden durch Bleche mit Stabdübeln biegesteif ausgebildet. Trotz dieser verstärkten Bauweise wurden zwei stählerne Aussteifungsträger zusätzlich eingebaut, was angesichts der vorhandenen, wenn auch gekrümmten Dachscheibe in Zusammenwirkung mit den aussteifenden Giebelwänden viel erscheint. Die horizontalen Auflagerkräfte der Schale werden an den stählernen Kastenprofilen durch angehobene Zugbänder aufgenommen.⁷²(s. Abb.127)



Abb.125. Sporthalle Charlottenburg, 23m Spannweite, erbaut 1989, Innenansicht

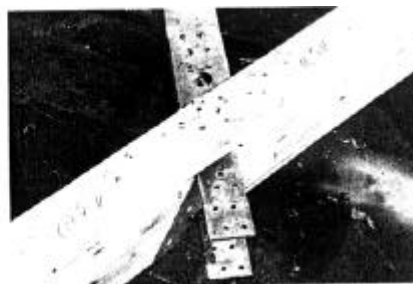
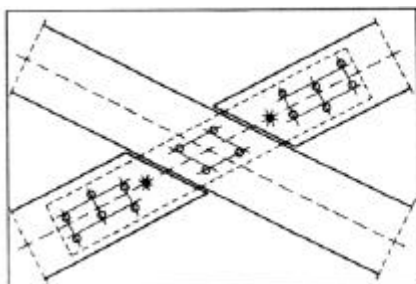


Abb.126. Sporthalle Charlottenburg, biegesteifer Knoten mit Blechen.

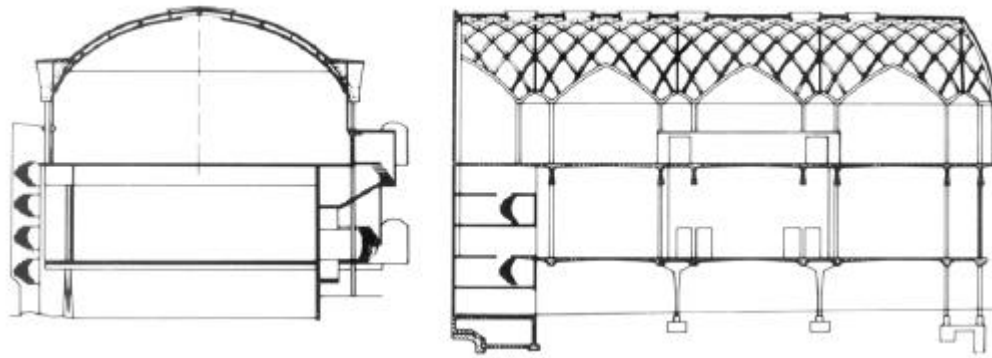


Abb.127. Sporthalle Charlottenburg, Querschnitt, Längsschnitt.

3.2.3 Fachwerkträger und Raumstabwerke

Der Einsatz von Fachwerkträgern im Holzleimbau setzte erst sehr viel später ein.

Die bis dahin gebauten Hängesprengwerke, der Howe'sche Träger, die Bogenbinder in Stephan'scher Bauweise und alle sonstigen Fachwerkträger wurden fast ausschließlich in Vollholz ausgeführt. Erst die verbesserte Verbindungstechnik ermöglichte die Übertragung immer größerer Kräfte - besonders Zugkräfte.



Abb.128. Bahnhof Kopenhagen, Stephan'sche Bauweise.

Daß die Entwicklung der massiven Bogenbinder mit 98 m Spannweite 1964 ihren Höhepunkt erreichte, lag hauptsächlich an den gestalterischen Grenzen, die erreicht wurden. Die Doppelbinder hatten Querschnittsabmessungen von 1,5 m und mehr, was besonders im Auflagerbereich kaum als gut proportioniertes Anschlußdetail ausgebildet werden kann.

So lag es nahe, bei ähnlichen oder größeren Spannweiten Fachwerk-Bogenbinder einzusetzen. Ein besonders exponiertes Beispiel sind die Olympiabauten für die Winterolympiade 1994 in Lillehammer. Die Größte der Hallen ist die "Hamar Olympiahall" für Eiskunstlauf, Eishockey und Eisschnellauf. (s. Abb.129)^{73 74}

Die Zweigelenkbinder überspannen zwischen 48,0m und 96,4m. Trotz der großen Schneelast von 2,5kN/m² und dem hohen Binderabstand von 12,0m erscheint der Fachwerkbinder mit 4m vergleichsweise hoch. Hierbei waren die gestalterischen Belange maßgebend, um das richtige Verhältnis zwischen Querschnittsabmessungen und Gesamtbinderhöhe zu erzielen. Die Schwierigkeit des Anschlusses der Stabkräfte wurde durch 12mm starke Stabdübel in Verbindung mit bis zu vier 8 mm-dicken Stahlblechen behoben. Die Aussteifung in Längsrichtung erfolgt über den 250 m langen Gratbinder, dem die Kräfte durch Aussteifungsdiagonalen zugeführt werden. Die Halle ist die bisher größte in Holz ausgeführte Halle ihrer Art.⁷⁵ Dem Fachwerkträger verwandt ist auch der unterspannte Träger. Hierbei werden in der Regel die zugbeanspruchten Tragwerksteile in Stahl ausgeführt. Um die Druckbeanspruchung des Obergurtes möglichst gering zu halten, kann eine Vorspannung des gesamten Fachwerkträgers entlastend wirken.

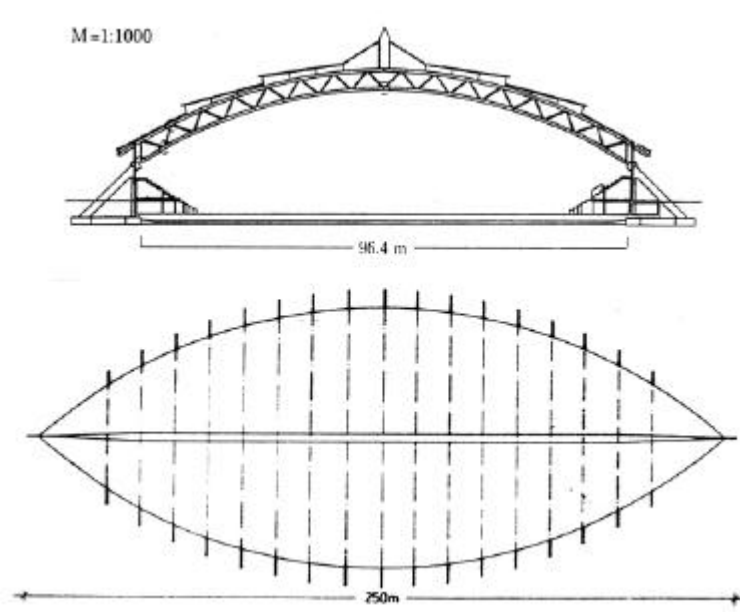


Abb.129. Olympiahalle in Lillehammer, 48-96,4m Spannweite, erbaut 1994, Grundriß, Querschnitt

Dieses Prinzip wurde bei der 1993 gebauten Produktionshalle der Firma Wilkahn in Bad Münde angewendet. Der Architekt Thomas Herzog entwickelte gemeinsam mit dem Ingenieurbüro Sailer und Stepan eine dreiteilige Halle, zwischen deren 4 Rahmen die unterspannten Träger hängen. Die Aussteifung in Längsrichtung und die Vorspannung in Höhe von 40 kN erfolgt über die diagonalen stählernen Zugstangen.

Die Rahmen stehen im Abstand von 6,6m, die durch mit Rippen verstärkte Tafелеlemente überspannt werden.^{76 77}

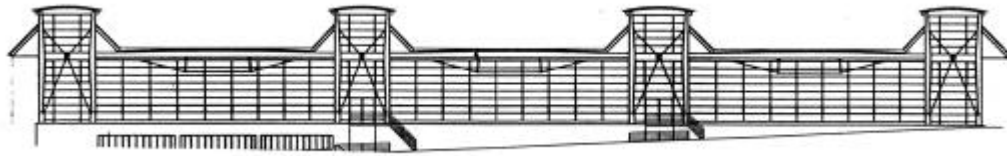


Abb.130. Produktionshalle der Firma Wilkhahn. Seitenansicht

Die Entwicklung der hölzernen Raumstabwerke wurde maßgebend von den stählernen Raumstabwerken beeinflusst. Die Entwicklung eines tragfähigen Knotens war die entscheidende Voraussetzung, die mittels einer Stahlgußkugel, einem hochfesten Stahlbolzen gemeinsam mit Blechen und Stabdübeln im Holz erzielt wurde.

Bei dem Seeparksaal in Arbon, Schweiz, überspannt das Tragwerk eine Fläche von 45 x 27 m mit Stabdicken von maximal 17 x 17 cm, wobei aber besonders belastete Stäbe in Buche ausgeführt wurden. Alle anderen Stäbe wurden aus Föhrenholz erstellt.⁷⁸

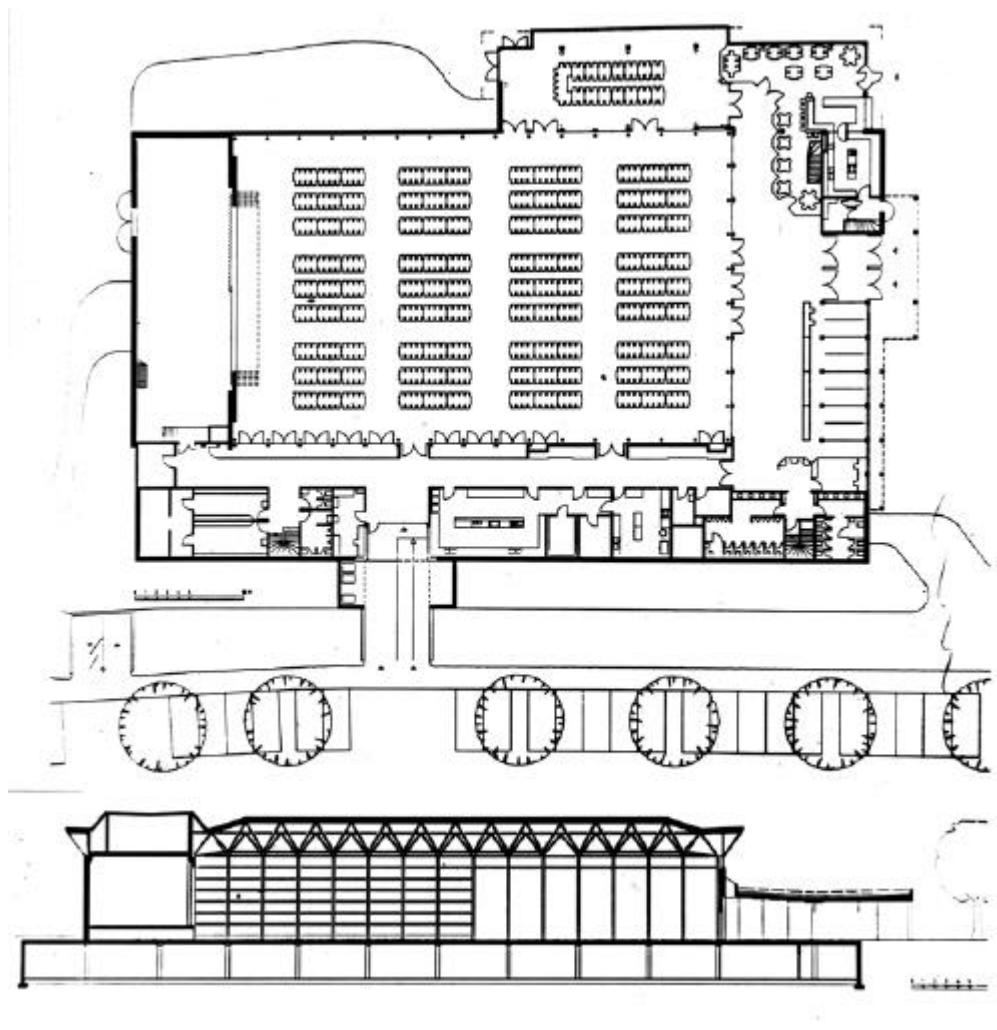


Abb.131. Seeparksaal in Arbon, Schweiz, Schnitt, Grundriß.

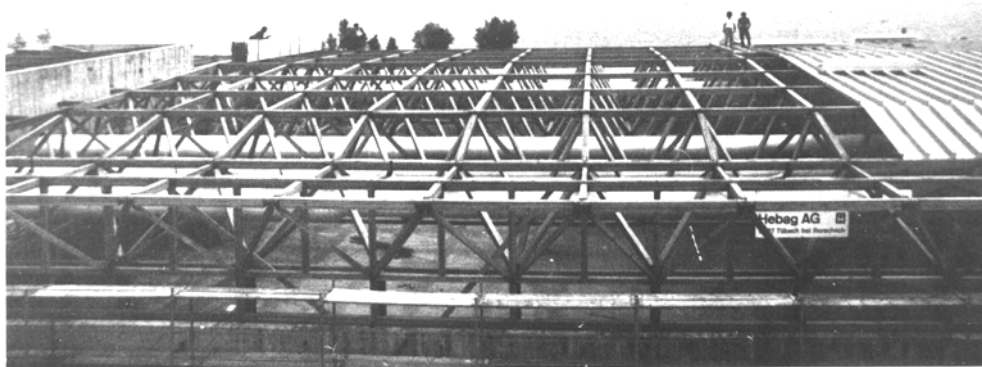


Abb.132. Seeparksaal in Arbon, Schweiz, Bauzustand.

Gegenüber gerichteten Tragwerken sind die Raumstabwerke in der Regel aufgrund der vielen notwendigen, teils schwierigen Knoten etwas kostenintensiver, wobei jedoch die Nebenträger oder Pfetten überflüssig werden.

Ein einachsig gerichtetes Raumstabwerk fand bei der Thalkirchener Brücke Verwendung (Architekt J. Dietrich und Ingenieurbüro Suess und Staller). Das Besondere der Brücke ist die Zulassung der Knoten für dynamische Beanspruchungen, wobei die Brücke im Normalfall nur für 3,5 t Fahrzeuge zugelassen ist.⁷⁹

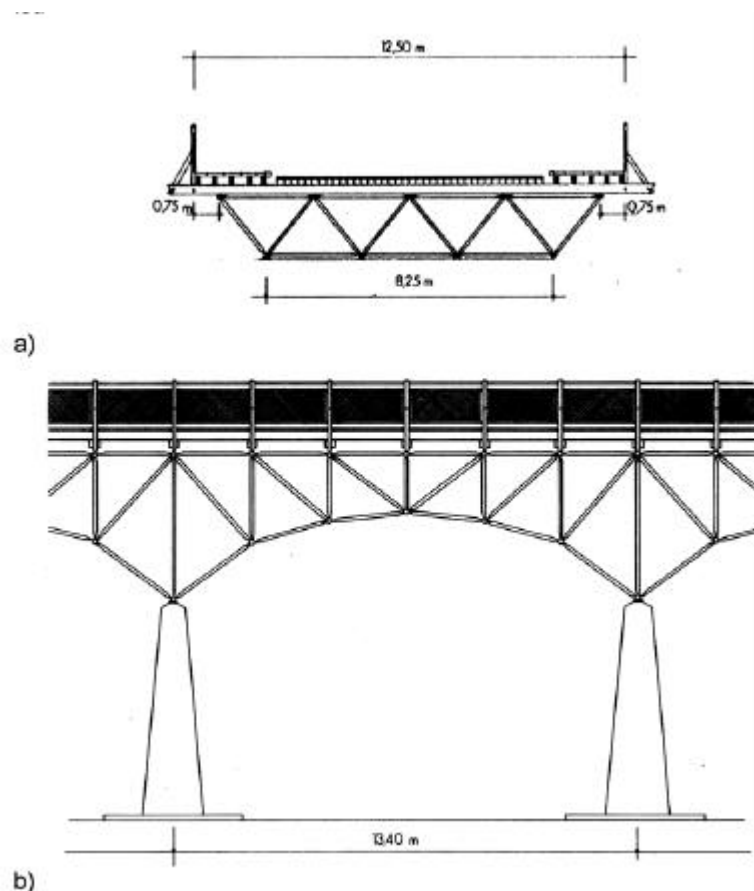


Abb.133. Thalkirchener Brücke, a) Schnitt, b) Seitenansicht.

3.2.4 Stabwerkskuppeln - vorwiegend druckbeanspruchte Konstruktionen

Die Überdachung der Hal de blé in Paris stellte eine der ersten großen hölzernen Kuppeln dar, die als Rippenkuppel konstruiert war, welche dazu noch ohne radial angeordnete Ringpfetten auskommen mußte. (s. Abb.7)

Verne Ketschum stellte schon 1959 drei verschiedene Kuppeltypen vor.⁸⁰ Bei der radialen Rippenkuppel dienen radial angeordnete Dreigelenk-Binder als Haupttragglieder, welche durch Ringpfetten miteinander verbunden werden. Aufgrund der Abmessungen der Binder wird in der Regel am Scheitel ein Druckring ausgebildet, an dem sie biegesteif angeschlossen sein sollten, worauf besonders bei großen Druckringen zu achten ist, um ein Kippen des Ringes zu verhindern. Als Stabilisierung der Binder und zur Torsionsaussteifung dienen diagonale Aussteifungsverbände. (s. Abb.134)

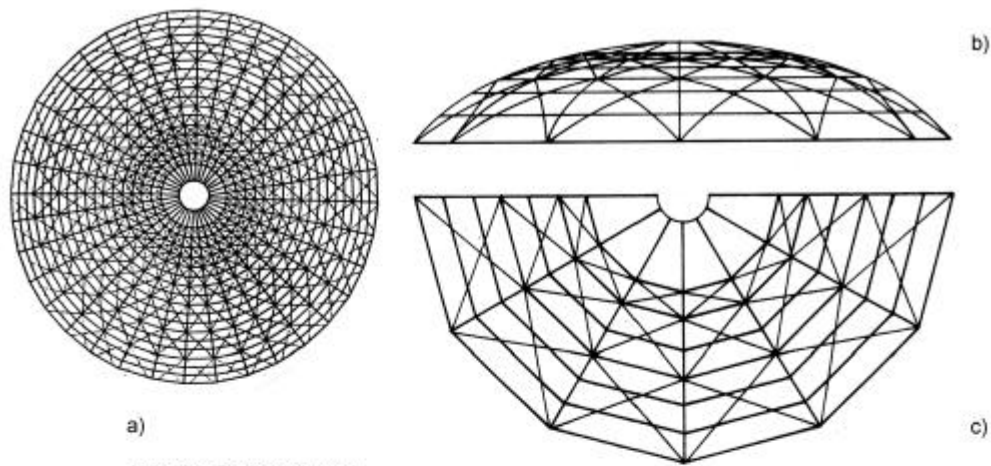
Aufgrund der Geometrie sind die Spannweiten der Pfetten sehr unterschiedlich, und auch die Befestigung der Schalung bringt durch geometrische Ungleichheiten im Scheitelbereich Probleme mit sich. Aus diesen Gründen leitet sich die Suche einer gleichmäßigen Tragstruktur ab.

Dies führt in der sogenannten geodätischen Kuppel zu einer im Grundriß drei-axialen Rippenaufteilung, wodurch gleichseitige räumliche Dreiecke entstehen, die in sich ausgesteift sind.(s. Abb.135) So entsteht ein Sechseck, das sich je nach Größe vervielfacht. Dadurch erhalten alle Stäbe den gleichen Radius, was zu erheblichen Vereinfachungen bei der Herstellung führt. Leider geht dabei die "Ringpfette" mit ihrem günstigen Tragverhalten verloren.

Um diesen Mißstand zu beheben, entwickelte man die sogenannte trianguläre Kuppel unter Beibehaltung der Dreieck-Struktur, aber unter Aufgabe der Gleichseitigkeit. Nur dadurch kann wieder eine polygonale Ringrippe erzielt werden. Diese Form setzte sich im weiteren nur selten durch.(s. Abb.136)

Bereits vor 1959 wurde in Bozeman, Montana (USA) eine radiale Rippenkuppel mit 91,44m (300ft) Spannweite und einer Höhe von 15,46m errichtet. Die Höhe der Brettschichtholzrippen betrug 41,3cm (16 1/4 In), was bei einer Breite von ~18 cm sehr gering erscheint.(1 foot = 30,48cm, 1 inch = 2,54cm)

Eine ähnliche Kuppel mit 105 m Spannweite entstand Anfang der 80er Jahre in Zilina, Slowenien. Die zwischen 80 und 190 cm hohen Binder (b=23 cm) wurden durch hohe Querträger stabilisiert. Diese Querschnittsabmessungen erscheinen außerordentlich hoch im Vergleich zu dem vorherigen Bauwerk, was zum Teil mit den hohen Schneelasten zusammenhängen kann.⁸¹



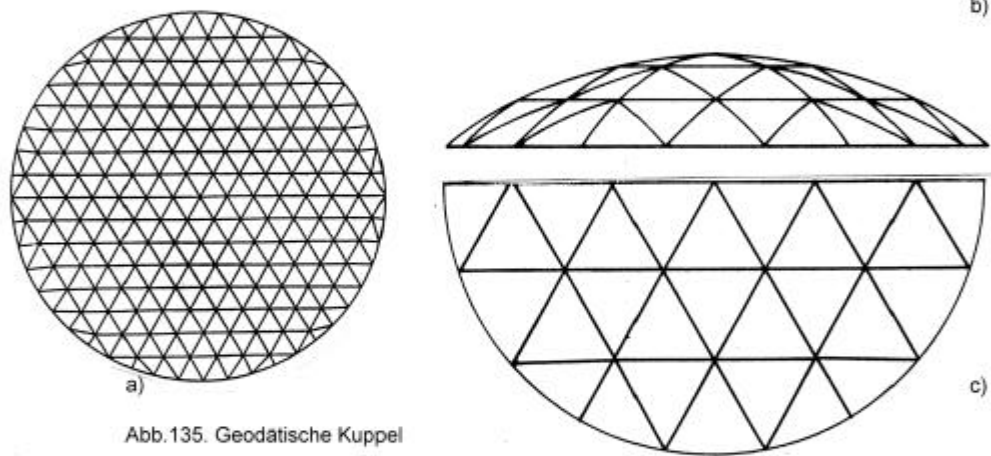
a)

Abb.134. Radiale Kuppel

b)

c)

b)

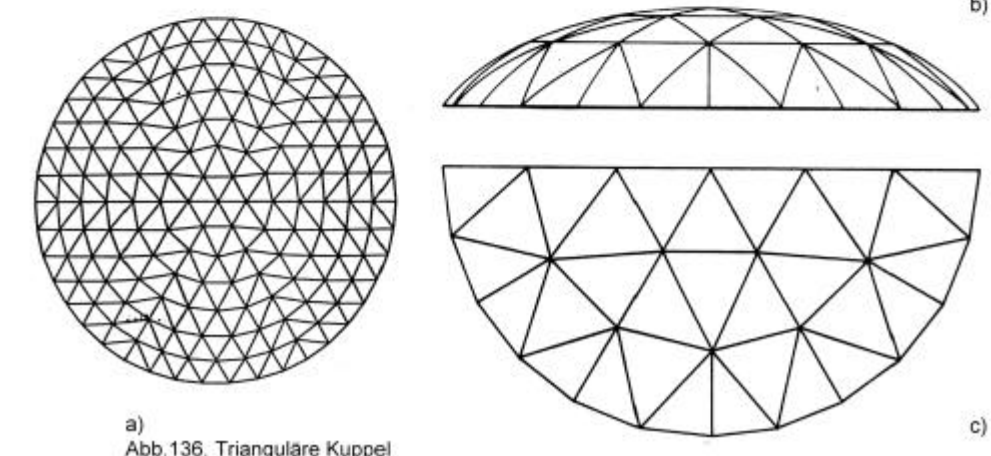


a)

Abb.135. Geodätische Kuppel

c)

b)



a)

Abb.136. Trianguläre Kuppel

c)

Abb. 134 - 136 Darstellung unterschiedlicher Stabkuppel-Typen mit a) Schema b) Seitenansicht und c) Ausschnitt

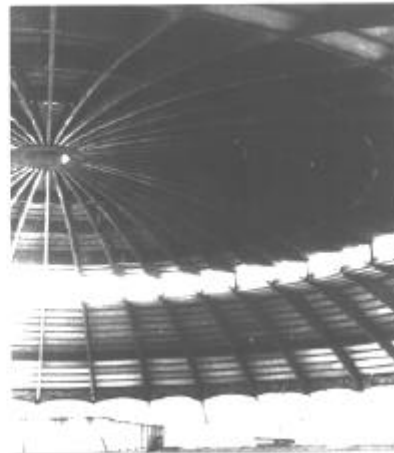
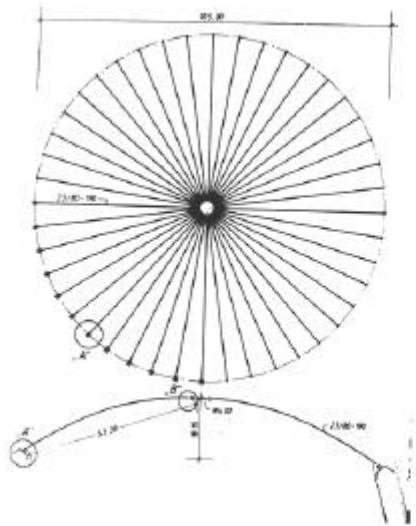


Abb.137. Sportzentrum in Zilina/Sileina CSR, 105m Spannweite, erbaut 1980,

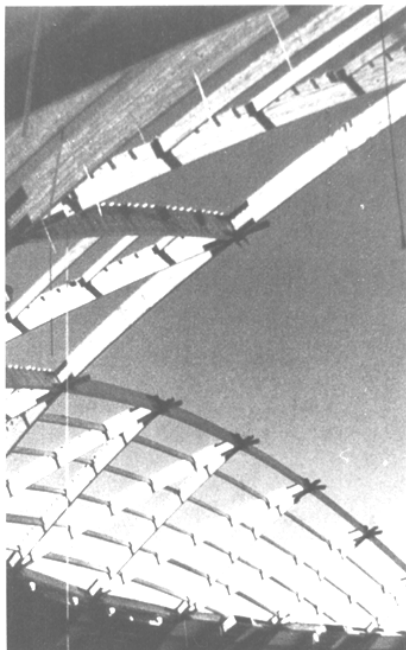


Abb.138. geodätische Kuppel in Tacoma, 160m Spannweite, erbaut 1982, Bauzustand, Innenansicht



Abb.139. geodätische Kuppel in Tacoma, Außenansicht.

Geodätische Kuppeln baute man ebenfalls bereits Ende der 50er Jahre, so zum Beispiel in Cuyahoga Falls, Ohio, mit einer Spannweite von $\sim 67\text{m}$ (220ft). Die Haupttragrippen haben nur eine Abmessung von $\sim 8 \times 24,8\text{cm}$ ($3 \frac{1}{4} \times 9 \frac{3}{4}$ inch), was schon beängstigend gering erscheint.

1982 entstand in Tacoma, Washington, die noch heute größte hölzerne Kuppel mit einer Spannweite von 160 m. Die Hauptträger aus verleimter Douglasie haben eine Abmessung von 17-22 cm Breite und einer Höhe von 75 cm. Die etwa 15 m langen Hauptträger wurden am Boden mit den Nebenträgern zu Dreiecken verbunden, welche als Ganzes dann durch Krane eingebaut wurden. Die Verbindung erfolgte über hexagonale Stahlribben, die mit Laschen und Bolzen verbunden wurden.(s. Abb.139)^{82 83}

Die in Oulu, Nordfinnland, 1985 erstellte Kuppel ist zwar mit 115 m Spannweite nicht so groß, führte aber durch die Verwendung von "Kerto-Schichtholz" zu Querschnittsabmessungen von 14,8 - 20,4 x 70 cm bei einer Schneelast von 180 kg/m². Da das Kerto-Schichtholz eine produktionsbedingte Plattenstärke von 75 mm hat, wurden die einzelnen Träger aus zwei bis drei Teilen zusammengesetzt. Die Stahlribben wurden durch anschließende Ausbetonierung feuergeschützt, was aber eine eher fragwürdige Vorgehensweise darstellt, zumal der Arbeitsaufwand beträchtlich und die Verbindungen nun nicht mehr zugänglich sind.⁸⁴



Abb.140.: Geodätische Kuppel in Oulu, 115m Spannweite, Nordfinnland.

3.2.5 Dachtragwerke - vorwiegend zugbeanspruchte Konstruktionen

Im Jahre 1964 entstand die große Festhalle für die EXPO in Lausanne, welche ein hängendes Dach hatte. Dieses Dach bestand aus über 52 m langen, 1 m breiten und 13 mm dicken Lamellen, welche an einem 87 m weitspannenden Dreigelenkbogen hingen, der zusätzlich unterspannt war. Am Fußpunkt wurden sie durch einen Druckring gehalten. Der Dreigelenkbogen und der Druckring wurden als zweiteiliger Querschnitt aus Brettschichtholz ausgeführt. Auf den Lamellen war eine Kunststoffhaut befestigt, die transluzent war und dadurch die Dachhaut streifenweise erhellte. Das Besondere der Lamellen bestand in den mit Araldit verleimten stählernen Anschlüssen, welche sich nicht als dauerhaft erwiesen. Die Halle mußte daher später wieder abgebaut werden.⁸⁵(s. Abb.141)

Die Überlegenheit dieses Tragwerks - bei aller Problematik der Anschlußdetails - wird recht deutlich, wenn man zum Beispiel die 1979 in Selb/Oberfranken entstandenen Dachkonstruktionen der Eislaufhalle mit ähnlichen Abmessungen zum Vergleich heranzieht. Statt der hängenden Sperrholzlamellen von 13 mm Stärke wurden Biegeträger von 20 * 175 cm Abmessungen im Abstand von 5 m verbaut. (s. Abb.143)

Ein ähnlicher Vergleich läßt sich zu der in demselben Jahr entstandenen Eislaufhallenüberdachung in Davos ziehen, wo die Haupt- und Nebenträger zwischen 1,68 m und 1,95 m Höhe haben. Trotz oder gerade wegen immens hoher Schneelasten von 800 kg/m² erscheint auch dieses Tragwerk eher ungeeignet für die vorliegenden Randbedingungen. (s.Abb.143)⁸⁶

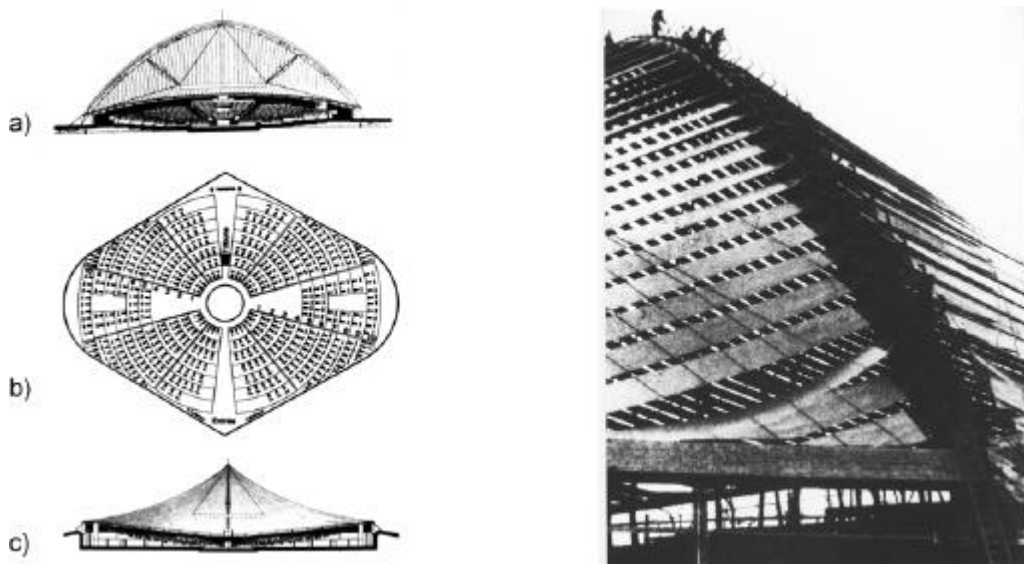


Abb.141. Festhalle der Schweizerischen Landesausstellung EXPO 1964 in Lausanne, a)Längsschnitt, b) Grundriß, c) Querschnitt, d) Bauzustand

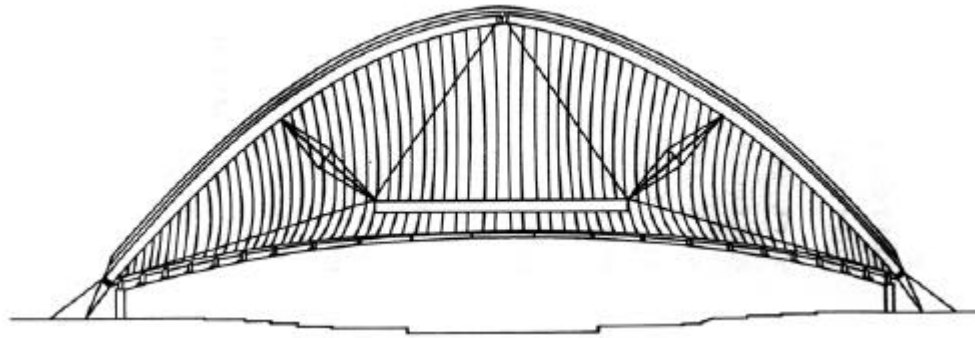


Abb.142. Festhalle der Schweizerischen Landesausstellung EXPO 1964 in Lausanne, 87m Spannweite, Längsschnitt

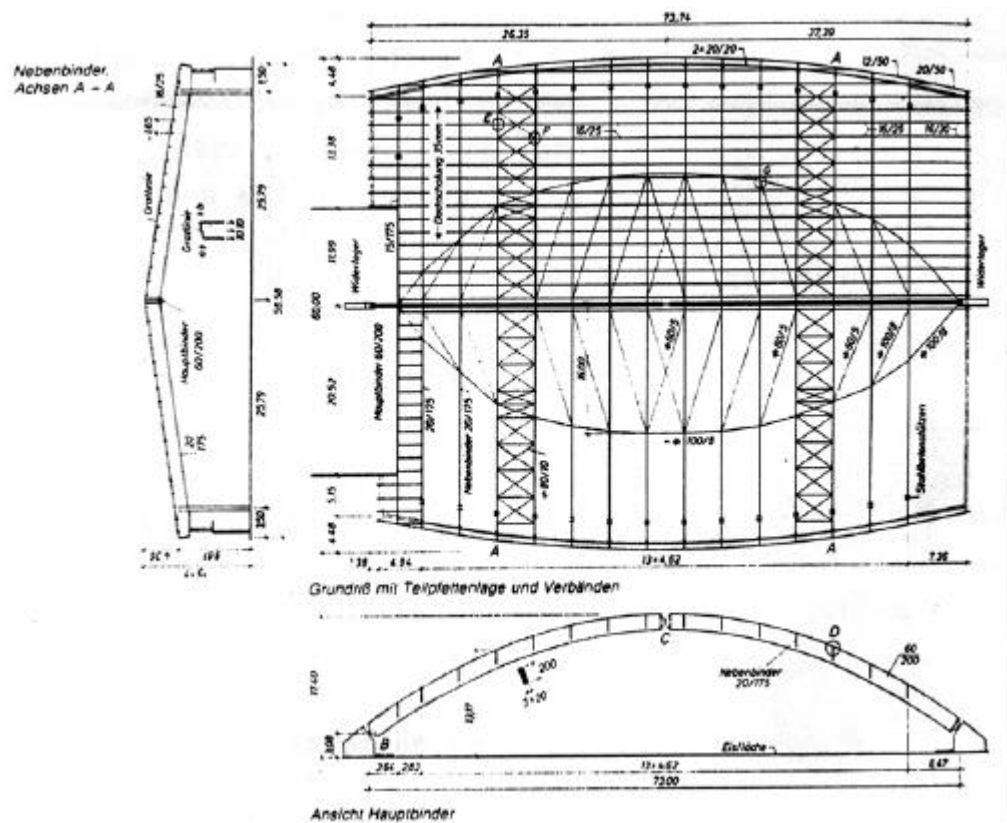


Abb.143. Eislaufhalle in Selb, Oberfranken, Grundriß, Quer-, Längsschnitt.

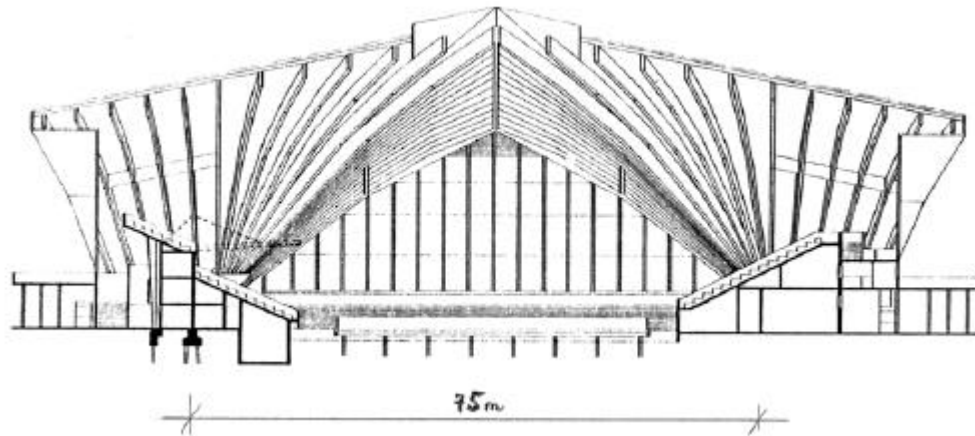


Abb.144. Eislaufhalle in Davos, Schnitt.

Die bisher am weitesten gespannte hängende Rippenschale entstand 1982 zur Überdachung der Abfallrecyclinganlage in Wien. Von einem 67,7 m hohen Stahlbetonturm spannen 48 radial angeordnete Hängerippen, die einen Querschnitt von 20 cm auf 80-110 cm haben. Der Gesamtdurchmesser des Daches beträgt 170,6m, so daß die einzelnen Rippen eine Länge von 102 m erreichen. Sie sind durch 11 Ringpfetten zug- und druckfest miteinander verbunden und durch diagonale Spannseile zur Stabilisierung unsymmetrischer Lasten ausgesteift. Die kreuzweise vernagelte Schalung bewirkt dann eine zusätzliche Versteifung. Je zwei Rippen sind am Boden miteinander durch die Pfetten verbunden und mit der Schalung versehen, bevor sie durch Kräne eingehoben wurden.(s. Abb.145)^{87 88}

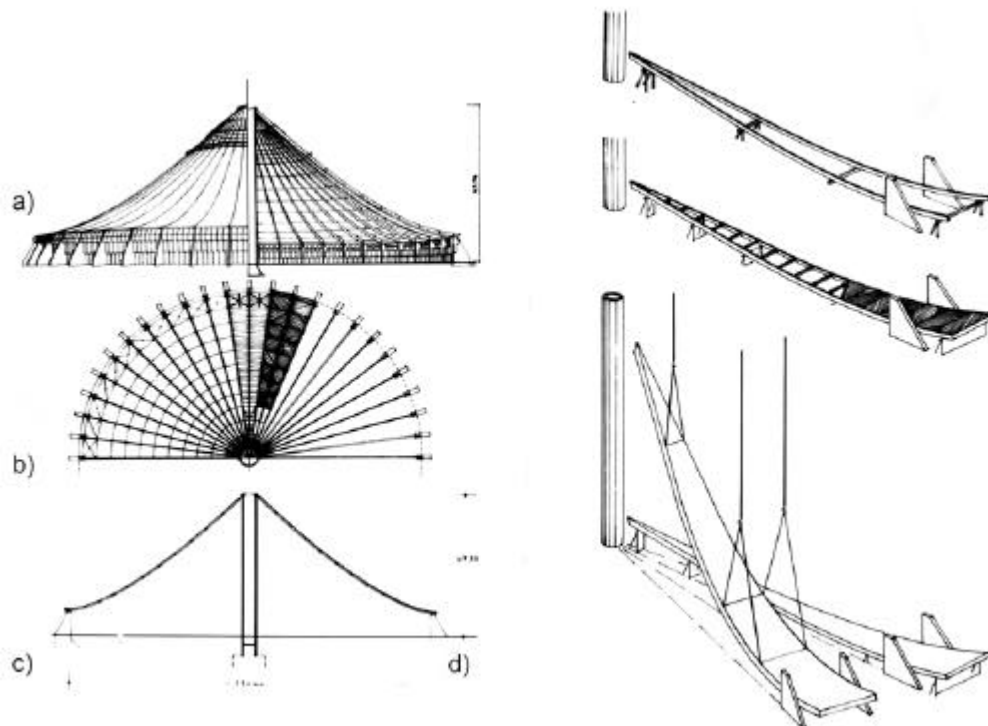


Abb.145. Recyclinghalle Wien, 170m Spannweite, erbaut 1982, a)Außenansicht und Innenansicht, b) Grundriß c)Schnitt, d) Montageablauf

Die freieste Weiterentwicklung stellt die Überdachung des Solebades in Bad Dürkheim dar, die durch die Architekten Geier und Geier in Zusammenarbeit mit den Ingenieuren Wenzel, Frese und Barthel 1986 entstand. Hier wurde die Übertragung der für die Bauten der Olympiade in München entwickelten Zeltkonstruktionen auf den Baustoff Holz erreicht, welcher aufgrund seiner bauphysikalischen Eigenschaften besonders gut zur Überdachung von Schwimm- und Solebädern geeignet ist. Seine nicht vorhandene Korrosionsanfälligkeit bedarf aber bei den Stahlverbindungen einer geschützten Ausbildung.^{89 90 91}

Auf der Grundlage des sehr freien Grundrisses entstanden fünf 9,1m bis 11,5m hohe Baumstützen, welche um einen kleinen Innenhof stehen. Sie tragen an ihren 6 bzw. 8m großen Zugringen die Rippenschale, welche aus hängenden Meridianrippen und Ringrippen bestehen, die durch eine zweilagige, diagonal versetzte Schalung schubsteif miteinander verbunden wird. Die Meridianrippen hängen der Kettenlinie angepaßt von Ring zu Ring oder von Ring zum Randbogen. Die Lage der Rippen wurde den Hauptspannungstrajektorien angepaßt, wodurch sie hauptsächlich auf Zug belastet werden und nur einen Querschnitt von 20/20,5cm haben. Die Ringrippen sind in einem Abstand von 80 cm in die Meridianrippen eingelassen und haben Querschnitte von 8/8cm bzw. 12/14cm. Die maximal zweifach gekrümmten und verwundenen Rippen wurden aus 10 bis 20 , einige Bauteile sogar aus 98 Querschnitten verleimt, was mit einem Zwischenschritt mit anschließendem Auftrennen und erneutem Verleimen erreicht wurde.(s. Abb.148)

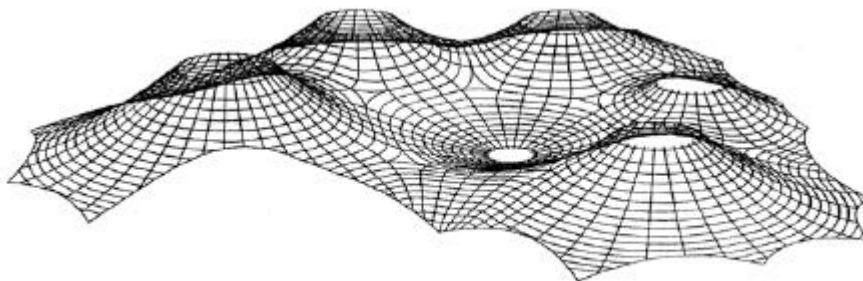


Abb.146. Solebad Dürkheim, Dachaufsicht der Hänge-Rippenschale.

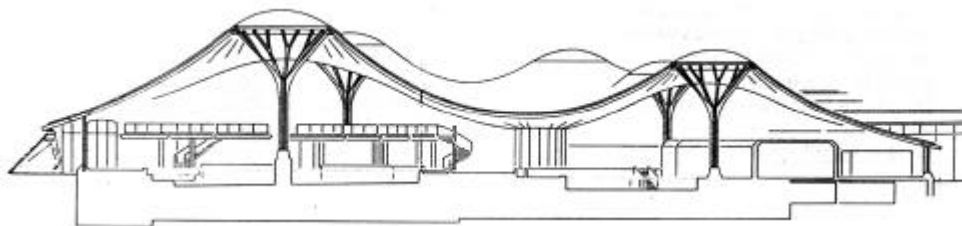


Abb.147. Solebad Dürkheim, Schnitt.

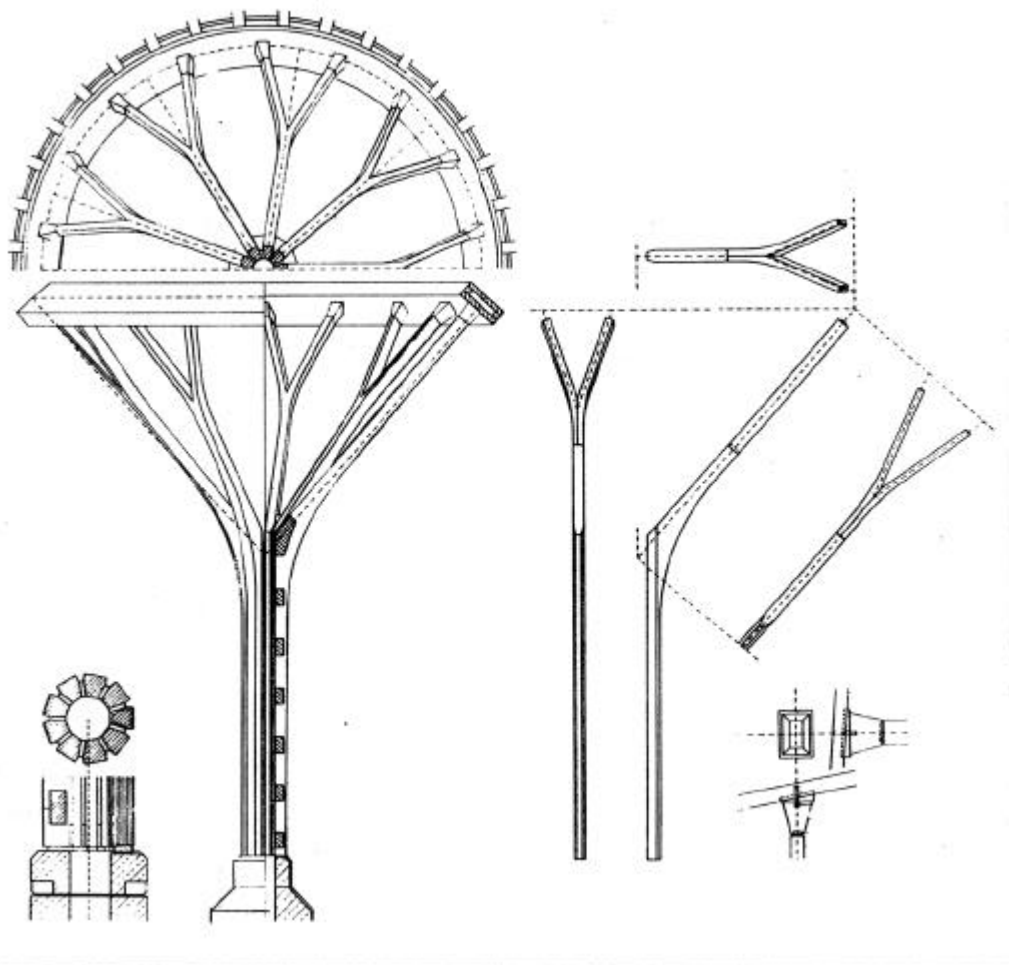


Abb.148. Solebad Dürrhein, Details der Baumstütze.

Die Baumringe und Randbögen sind als Kastenprofile so konstruiert, daß die Meridianrippen mittig einlaufen und durch Stabdübel angeschlossen werden. Die beiden Kastenquerschnittsteile wurden dann mit Schlüsselschrauben und Zwischenhölzern miteinander verbunden. In den Ecken der Randbögen befinden sich in Buchensperrholzplatten eingelassene Gußstahllager, die vor allem die horizontalen Auflagerkräfte aufnehmen. Das Gewicht der Randbögen wird über die Fassaden abgetragen.

Die Baumstützen setzen sich aus 9 Segmenten zusammen, welche sich gleichsam abgewickelt aufspreizen, wobei der Ring mittels Zapfen und Hartholzdollen korrosionsfrei auf den Ästen fixiert ist.

Zur Kontrolle der Stützenkräfte sind kleine justierbare Zwischenfundamente unter den Baumstützen vorhanden, so daß auf eine Spannbarkeit der Rippenschale verzichtet werden konnte.

Abschließend muß festgestellt werden, daß der absolut minimierte Materialeinsatz bei diesem Tragwerk durch einen erheblichen Aufwand in der Vorfertigung und vor Ort bei der

Erstellung einer mittels Rillennägel erzielten schubsteifen Schale erlaubt wurde. Die architektonischen Ergebnisse und die bauphysikalischen Anforderungen lassen diesen Aufwand mehr als gerechtfertigt erscheinen.

Doch dieser erhöhte Planungsaufwand führt dazu, daß diese Bauweise vor allem bei Solitärbauten mit hohem Gestaltungsanspruch zum Einsatz kommen wird.

Eine ähnliche Konstruktion im Bereich des Industriebaues wurde 1987 für die Produktionsgebäude der Firma Wilkhahn in Bad Münden verwendet. Prof. Frei Otto plante in Zusammenarbeit mit der Planungsgruppe Gestering und den Ingenieuren Speich und Hinkes vier Pavillons, die jeweils eine Grundfläche von 22 x 22m haben. Sie werden mittig durch einen gespreizten Dreigelenkrahn überspannt, der gleichzeitig das Oberlicht aufnimmt. Die vorgekrümmten Rippen spannen vom Binder zum Druckring, der als Achteck ausgebildet wurde und auf der Fassade aufliegt. Die Hängerippen sind mit Schalung und textiler Dachbespannung versehen.(s. Abb.149) ⁹²

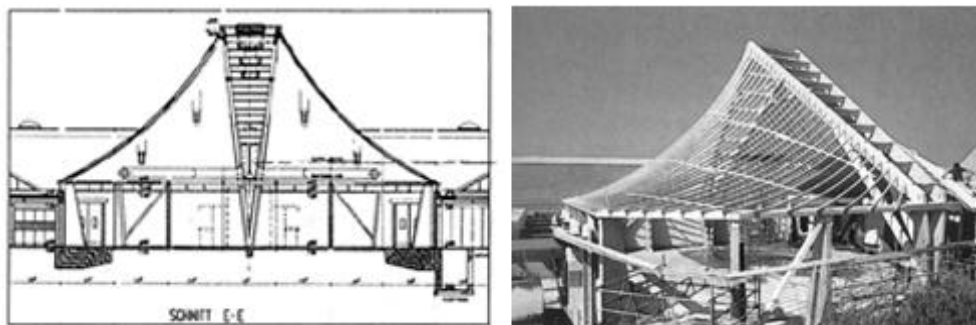


Abb.149. Produktionshalle Wilkhahn, Schnitt.

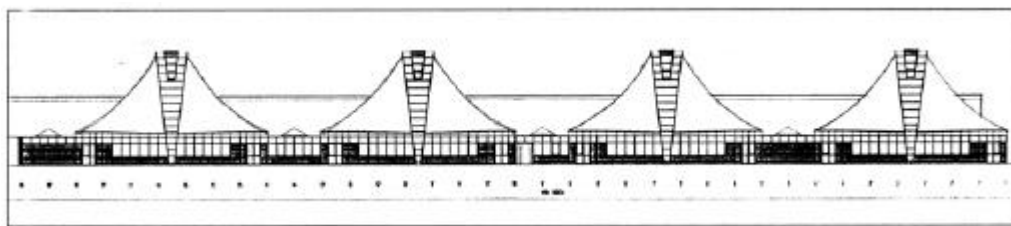


Abb.150. Produktionshalle Wilkhahn, Seitenansicht.

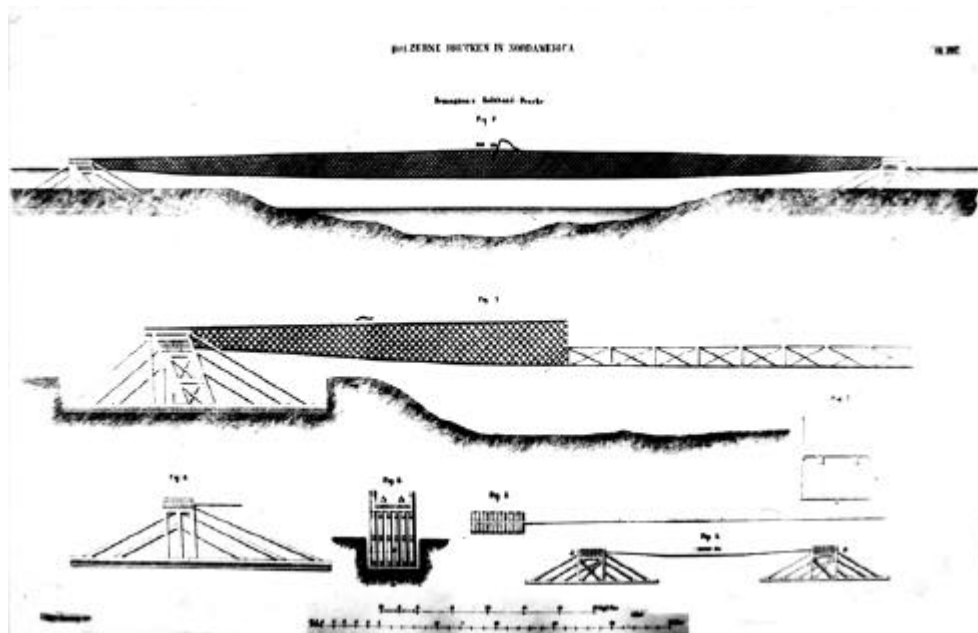


Abb.151. Spannbandbrücke nach Burlington.

3.2.6. Brücken

Schon 1851 berichtete Carl Culmann nach seiner Reise durch Nordamerika von den Ideen Remingtons, welcher versteifte Spannbandkonstruktionen zur Überbrückung großer Spannweiten bis zu 200 m vorschlug. Die Spannbandkonstruktionen stellen im Grunde flache Hängeseilbrücken dar, wobei durch den geringen Durchhang entsprechend hohe Zugkräfte entstehen. Und obwohl anscheinend niemand diese Idee sonderlich ernst nahm, erkannte Culmann den richtigen ingenieurmäßigen Ansatz dieser Idee : "So gebührt ihm (Remington) doch jedenfalls das Verdienst, der Holzkonstruktionsweise eine Richtung gegeben zu haben (Zugbeanspruchung von Holz), auf der wenigstens 3 bis 5 mal mehr geleistet werden kann als auf dem bisher verfolgten Wege, und darauf aufmerksam gemacht zu haben, daß dünne Verteilung die Dauerhaftigkeit des Holzes erhöht und durch Leime und andere chemische Mittel manchmal viel bessere Verbindungen hergestellt werden können als durch Verzahnungen und Keile, die immer Quellen der Fäulnis für alle Holzkonstruktionen sind."⁹³ Das hauptsächlich zugbeanspruchte Bauteil ist aufgrund seiner gleichmäßigen Spannungsverteilung im Querschnitt und der nicht vorhandenen Stabilitätsproblematik jedem druck- und biegebeanspruchten Bauteil überlegen.

Über 100 Jahre dauerte die Entwicklung des Holzleimbaues, bis zuverlässige, keilverzinkte Vollstöße zu erstellen waren, die so lange Bauteile erst ermöglichten. Auch die Entwicklung hochbeanspruchter Montagestöße vor Ort und entsprechender Lagerdetails bedurfte dieser Zeit.

Der Architekt Richard J. Dietrich entwickelte in Zusammenarbeit mit den Ingenieuren Brünninghoff und Rampf 1978 eine Spannbandbrücke als Fußgängerbrücke über den Main-Donau Kanal bei Essing. Neun 190 m lange Brettschichtholzträger spannen über 4 Felder von 30, 32, 73, und 35 m. Der Durchhang der einzelnen Felder wurde entsprechend der Spannweite so gewählt, daß möglichst gleiche Zugkräfte in allen Feldern entstehen.⁹⁴

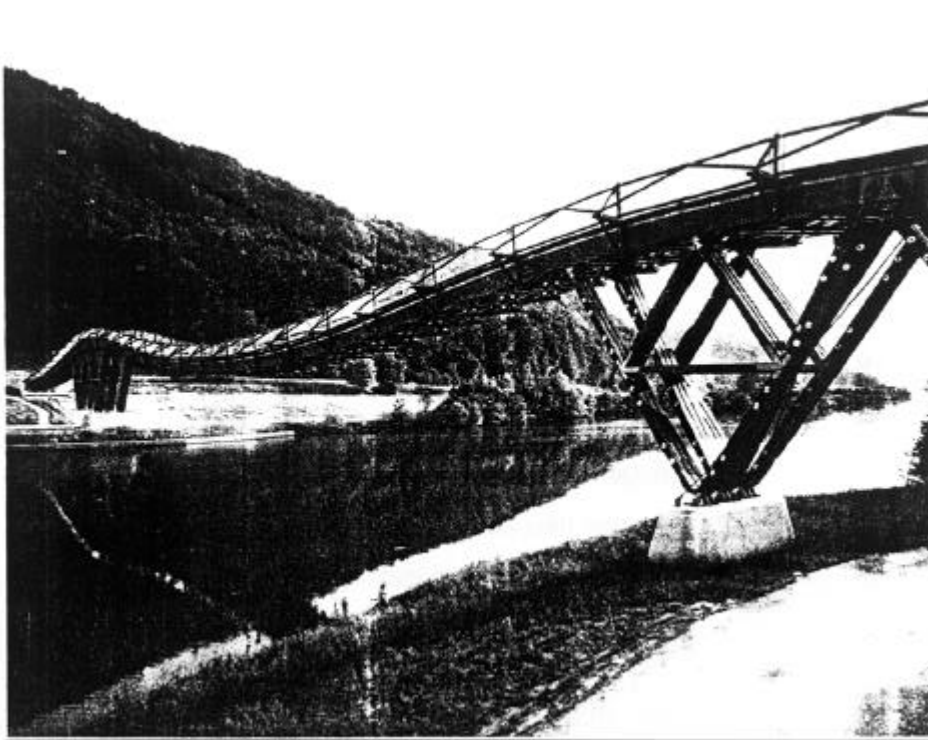


Abb.152. Spannbandbrücke bei Essing, Ansicht.

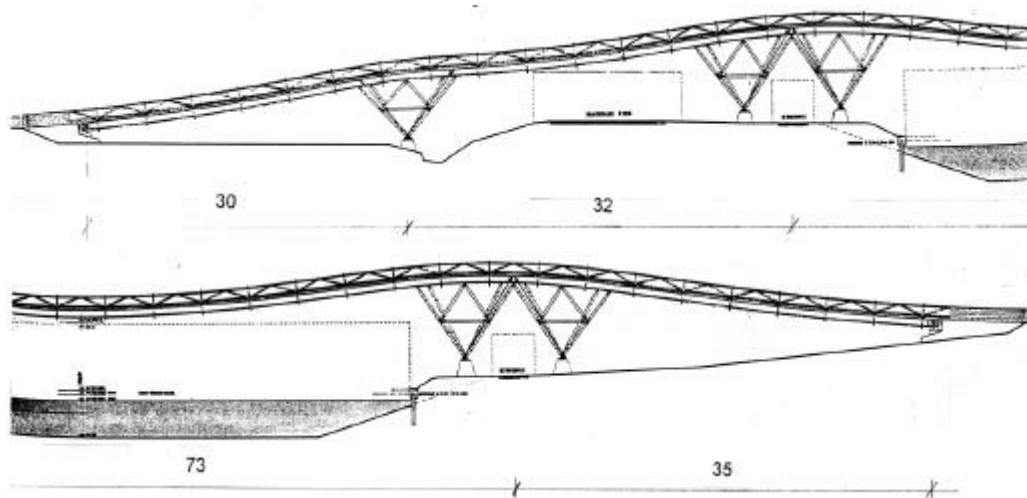


Abb.153. Spannbandbrücke bei Essing, Seitenansicht.

Die neun Träger mit Querschnitten von 22 auf 65 cm werden durch die auftretenden Zugkräfte in Höhe von 4000 KN nur zu 40 % ausgenutzt. Die erforderlichen Querschnittsmaße leiten sich aber aus den dynamischen Belastungen infolge Wind ab. Durch die Wahl geringer Querschnittshöhen wurde die Biegebeanspruchung infolge Längsdehnung reduziert, die damit nur 10 % der Gesamtbeanspruchung entspricht. (s. Abb.153)

Die durch diese geringe Biegesteifigkeit erhöhte Schwingungsanfälligkeit wurde durch die torsionssteife Verbindung aller 9 Träger erreicht. An der Oberseite befinden sich zwei Diagonalschalungen und auf der Unterseite doppelte diagonale Aussteifungsverbände. Die durch den Transport erforderlichen Montagestöbe erfolgten unter Prüfung der AMPA der TU München.

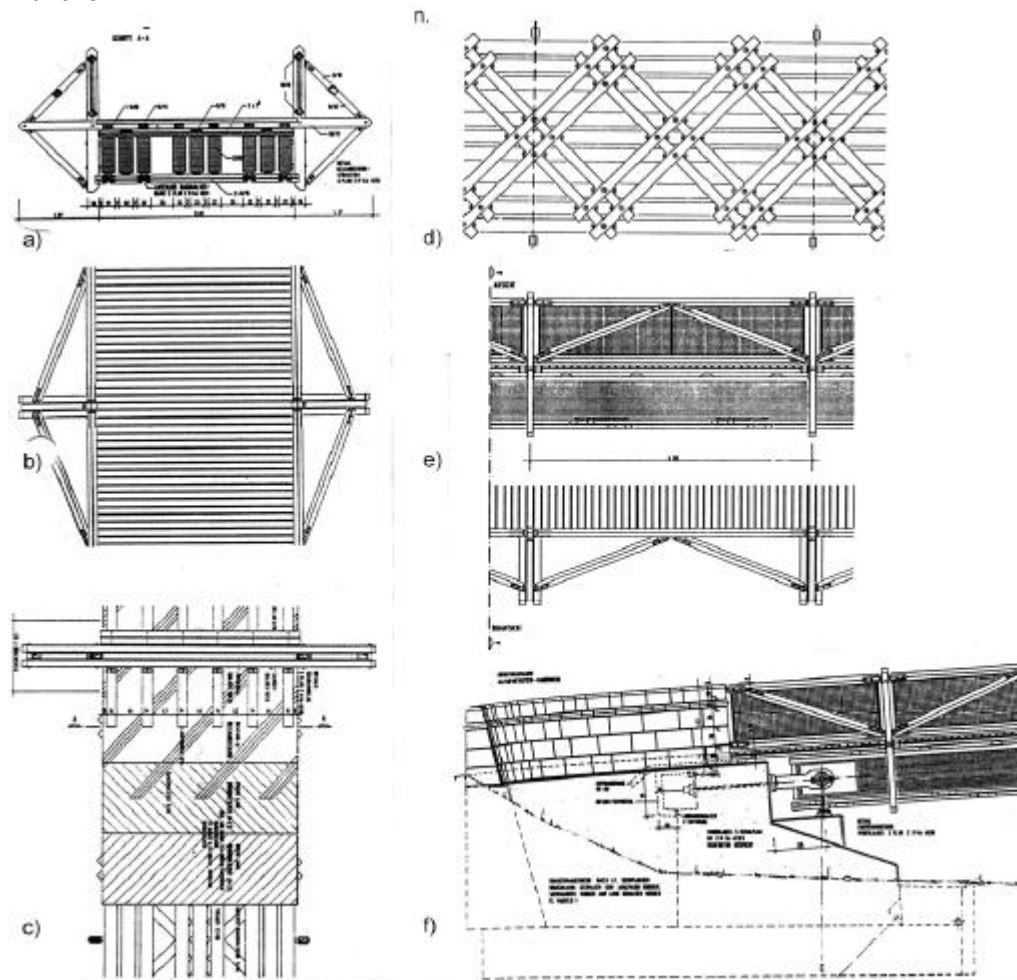


Abb.154. Spannbandbrücke bei Essing, a)Schnitt, b)Draufsicht, c)Schichtaufbau d)Untersicht mit Aussteifungsverband, e) Seitenansicht , f) Widerlager

4.0 Bauschäden und Sanierung alter Holzleimtragwerke

Die vorliegende Arbeit soll gleichfalls als Grundlage im Umgang mit noch bestehenden Bauwerken und deren Erhaltung dienen.

Hierbei muß unterschieden werden zwischen der Beurteilung der Holzgüte und dem heutigen Zustand der Leimfugen. Die Güte der Holzlamellen ist besonders in den Gurten in der Regel gut bis sehr gut. Die Randlamellen sind oft ungestoßen aus einem Stück gefertigt. Aufgrund der Astigkeit kann oftmals eine Einordnung in die Brettschichtholzgüteklasse I vorgenommen werden.

Fäulnisschäden treten im Bereich der Binderfüße häufig auf und werden in der Regel durch Totalaustausch der betroffenen Binderabschnitte behoben. So wurden zum Beispiel bereits 1928 einige Binderfüße der Reithalle St. Moritz durch ausbetonierte U-Profile ersetzt. Diese nicht materialgerechte Sanierung wäre auch in Holz möglich gewesen mit der Gefahr eines erneuten Befalles, da die Binderfüße durch die Balustrade eingepackt und so nicht luftumspült waren.

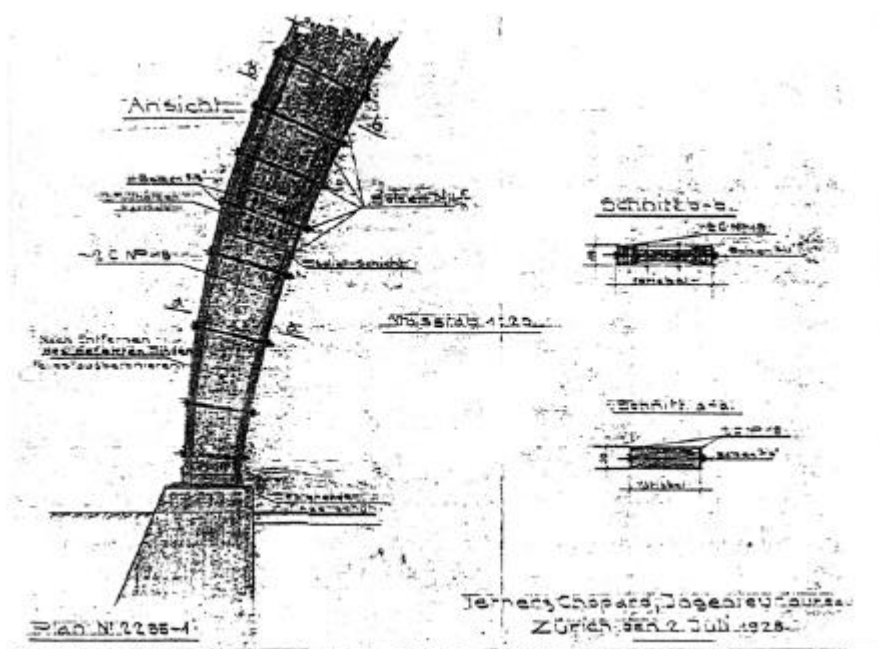


Abb.155. Sanierung eines fäulnisgeschädigten Binders

Das Hauptaugenmerk gilt aber dem Zustand der Leimfugen. Da der Kaseinleim nicht feuchtigkeitsbeständig ist, kommt es bei der Durchfeuchtung der Binder infolge undichter Dachhaut oder hoher Innenraumfeuchte zu offenen Leimfugen, die sich oft nicht wieder kraftschlüssig schließen, obwohl die erneute Trockenfestigkeit des Kaseinleimes in etwa der ursprünglichen Festigkeit entspricht.

So konnten zum Beispiel bei der Sanierung der Scheune in Wernesgrün in den Ober- und Untergurten offene Leimfugen mit über 50% der Querschnittsbreite festgestellt werden. Die

Leimfugen der Stegbereiche befanden sich in besserem Zustand, da die Feuchtigkeitsschwankungen bei geringerer Dicke zu geringeren Eigenspannungen führte.

Diese Schäden waren auf Undichtigkeiten der Dachhaut und eine Dampfhochdruckreinigung der Binder zurückzuführen. Auch die derzeitige Nutzung als Veranstaltungshalle mit bis zu 1000 Zuschauern führt zu starken Feuchtigkeitsschwankungen der Raumluft, die ebenfalls zu Schwankungen der Holzfeuchte führten. So wurden nach einer Veranstaltung im Sommer 1995 eine Holzfeuchte von 16,5% gemessen, was bei 25°C auf eine Luftfeuchtigkeit von 80% schließen läßt. Als Vergleich dient die heute empfohlene Holzfeuchte bei der Verarbeitung in Höhe von 8-12%.

Bei Fugentiefen über 30% der Querschnittsbreite war eine Sanierung dringend erforderlich. Hierbei ist ein kraftschlüssiges Verpressen mit Epoxidharz üblich und seit 15 Jahren mit Erfolg im Einsatz. Im vorliegenden Fall hätte diese Sanierung der Gurte aufgrund der Anzahl der offenen Fugen zu großen Kosten geführt, weshalb eine Sanierung der Gurte durch Verdübelung mittels in Epoxidharz eingeleimter Hartholzdübel im Abstand von 50 cm gewählt wurde. Im Versagensfall der Leimfuge ist damit die Knicklänge einer Lamelle begrenzt, so daß es nicht zu einem Totalversagen des Binders kommen kann.

Im Rahmen der Sanierung der Scheune in Wernesgrün stellte sich heraus, daß der Nachweis der Firma Hetzer von 1911 für eine Schneelast von 75 kg/m² erbracht worden war. Diese Schneelast ist für den Standort heute als viel zu gering einzuschätzen und gemäß DIN 1055 auf 150 kg/m² zu erhöhen. Dazu soll die ehemalige schwere Biberschwanzdeckung wiederaufgebracht werden, für die der Nachweis nicht ohne Verstärkung erbracht werden konnte. Hauptgrund ist die nicht der idealen Stützlinie entsprechende Form des Binders, der durch seine halbkreisförmige Form schon unter symmetrischer Belastung aus Eigengewicht und Schnee eine Biegebeanspruchung erfährt.

Eine Möglichkeit wie im Fall der Reithalle in St. Moritz stellt der Einbau eines Zugbandes im Bereich der negativen Momente dar, welche auch bei der Halle in Wernesgrün zur Ausführung kam. Diese Maßnahme stellt aber einen beträchtlichen Eingriff in den Innenraumeindruck dar und ist damit auch nicht voll befriedigend.

5.0 Materialeigenschaften

5.1 Holz

Die im nachfolgenden dargestellten Tabellen bezüglich der zulässigen Spannungen von Nadelholz und Laubholz im Verlauf dieses Jahrhunderts sollen einen Überblick über die Entwicklung geben.

Es ist fast überraschend, wie wenig sich die einzelnen Normen voneinander unterscheiden. Eine Steigerung der zulässigen Spannungen konnte im ersten Schritt 1943 in der DIN 1052 durch die Einführung von Holzgüteklassen erreicht werden. Im Verhältnis zur Güteklasse II konnten so in der HGKL I 30% höhere Biegespannungen zugelassen werden. Eine weitere leichte Steigerung erzielte dann die Homogenisierung des Holzes in Verwendung als Brettschichtholz mit HGKL I.



Diese weitere Homogenisierung in Form von Furnierschichtholz oder Furnierstreifenholz führte zu einer Steigerung der zulässigen Biegespannung bis zu 100% im Vergleich zu den Bestimmungen von 1910.

Die Steigerung wird aber "teuer" erkaufte durch eine aufwendige, kostenintensive Herstellung. Bei druck- und biegebeanspruchten Bauteilen führen die möglichen schlankeren Bauteile zu einer höheren Knick- oder Kippbeanspruchung, so daß es nicht zu einer 50%igen Materialersparnis im Bauwerk kommt.

Der nun mit Leim getränkte Baustoff muß aufgrund des ebenfalls höheren Energieaufwandes in der Herstellung in seiner ökologischen Bewertung als problematisch angesehen werden.

Die Wahl eines günstigen Tragwerkes ist daher nach wie vor die entscheidende Voraussetzung für eine wirtschaftliche Lösung.

5.1.1 Übersichtstafel der zulässigen Festigkeiten von Nadelholz gemäß den jeweiligen Zulassungen [N/mm²]

	Bestimmungen ^a v. 31.01.1910	ISA 164/1926 Schweiz	DIN 1052 1933	DIN 1052/1943			DIN 1052/1968					Furnierschichtholz (Kerle) 2 x 1 - 800 (- 1000)		Furnierschichtfelle (Paneele) 2 x 1 - 240 (- 1000)			
				DK II	II	I	NF DK III	II	I	DSH DK II	I						
Biegung zul. σ_b	10 - 12	10	10 (8)	$\sigma = D \quad \sigma = Z$ 7 (7,5)		10 (11)	13 (14)	7	10	13	11	14	σ_{b14} 17	$b = 17,4 \text{ mm}$		$b = 325 \text{ mm}$	$b = 396 \text{ mm}$
Zug II F_{II} zul. σ_{II}	10 - 12	10	9	0	8,5	10,5	0	8,5	10,5	8,5	10,5	18		18			
Zug I F_I zul. σ_{I1}	—	—	—	—	—	—	0	0,05	0,05	0,2	0,2	0,2		0,2			
Druck II F_{II} zul. σ_{II}	5 - 6	7,5	9	0	8,5	11	0	8,5	11	8,5	11	18		18			
Druck I F_I zul. σ_{I1}	—	5,5	2 (2)	2 (2,5)	2 (2,5)	2 (2,5)	2 (2,5)	2 (2,5)	2 (2,5)	2,5 (2)	2,5 (2)	 2,5		2,5 (4,0)			
Abscheren zul. τ_a	1 - 1,5	1,2	1,2	0,9	0,9	0,9	5,8	0,9	0,9	0,9	0,9	 2		2,8			
Schub aus G zul. τ_G	6 - 7	—	—	—	—	—	0,9	0,9	0,9	1,2	1,2	—		2,8			
Torsion zul. τ_T	—	—	—	—	—	—	0	1	1	1,5	1,5	—		—			
Elastizitätsmodul [$\frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2}$]	Bestimmungen ^a v. 31.01.1910	ISA 1926	DIN 1052 1933	DIN 1052 1943			DIN 1052 1968					x. G.		x. G.			
				19000	10000	10000	10000	1100	10000	1100	10000	10000	14500				
E_{20}	—	11000	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
E_{90}	10000	11000	19000	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
E_{10}	—	—	—	—	300	—	—	—	—	300	—	—	—	—	—	—	
E_0	—	9000	—	—	10000	—	—	—	—	10000	—	—	—	—	—	—	
G	—	—	—	—	—	—	—	—	—	900	—	—	500	—	—	—	

GK I * 1,16

^a Bestimmungen über die bei Hochbauten anzunehmenden Belastungen der Baustoffe und die Berechnungsgrundlagen für die statistische Untersuchung von Hochbauten v. 31.01.1912
Bei temporären Bauten wurden die zulässigen Spannungen um bis zu 50% erhöht.

Tafel 6: Übersicht der zulässigen Festigkeiten von Nadelholz gemäß den jeweiligen Zulassungen [N/mm²]

5.1.2 Übersichtstafel der zulässigen Festigkeiten von Laubholz gemäß den jeweiligen Zulassungen [N/mm²]

	Bestimmungen * v. 31.01.1910	SIA 1926 Schweiz	DIN 1052 1933	DIN 1052 / 1943			DIN 1052 / 1998			BSH
				III	II	I	A	B	C	
Biegung zul. σ_B	10 - 12	10	11	7,5	11	14	11	17	25	Nach DIN 1052 nicht genormt
Zug II F_{II} zul. σ_{ZII}	10 - 12	10	10,5	9	10	11	10	10	15	
Zug I F_{I} zul. σ_{ZI}	–	–	–	–	–	–	0,05	0,05	0,05	
Druck II F_{II} zul. σ_{DII}	8 - 10	7,5	10	7	10	12	10	13	20	
Druck I F_{I} zul. σ_{DI}	–	3,5	4,0 (5)	3 (4)	3 (4)	3 (4)	3 (4)	4	8	
Abscheren zul. τ_A	1,5 - 2	1,2	2	1	1	1,2	1	1,4	2	
Schub aus Q zul. τ_Q	8 - 9	–	–	–	–	–	1	1,4	2	
Torsion zul. τ_T	–	–	–	–	–	–	1,5	1,5	2	
Elastizitäts- schubmodul [MN/mm ²]	Bestimmungen * v. 31.01.1910	SIA 1926 Schweiz	DIN 1052 1933	DIN 1052 1943			DIN 1052 1998			
E_{ZII}	–	11000	12500	12500			12500			
E_{DII}	12500									
E_{DI}	–	–	–	600			600			
E_B	–	9000	–	12500			12500			
G	–	–	–	–			1000			

Tafel 7: Übersicht der zulässigen Festigkeiten von Laubholz gemäß den jeweiligen Zulassungen [N/mm²]

5.2. Die Leime

Die Voraussetzung für die Verleimung zweier Hölzer, welche als ein gemeinsamer Querschnitt tragen sollen, ist die höhere Belastbarkeit der Leimfuge gegenüber den angrenzenden Holzquerschnitten.

Die Kraftübertragung erfolgt durch die mechanische Verankerung, durch Adhäsion zwischen Holz und Leim und durch Kohäsion im Leim selber. Als Leime im Holzbau dienen hochmolekulare, organische Stoffe, welche mit Dispersionsmitteln wie Wasser oder organischen Lösungsmitteln verdünnt werden.⁹⁵

Der Abbindevorgang erfolgt unter Abgabe dieser Dispersionsmittel bei gleichzeitiger Abkühlung, durch Gerinnung oder chemische Reaktion je nach den betreffenden Leimstoffen. Dieser Übergang vom Sol- zum Gelzustand ist mechanisch sehr anfällig und ohne erneute Verflüssigung irreversibel. Die Aufnahme des Dispersionsmittels, im allgemeinen Wasser, erfolgt hauptsächlich durch das Holz, welches daher mit geringer Eigenfeuchte verarbeitet werden muß (9-12%). Aus diesem Grund sind solche Leime auch nicht für die Verarbeitung von Furnieren (1mm) geeignet. Der Anteil des Dispersionsmittels kann auch durch Verdunstung bei offener Leimfuge (Wartzeit 15-30 Min) reduziert werden.

Die Entwicklung der Leime steht im engen Zusammenhang mit seiner Verwendung. So stellte die Verwendung von Leimen im Hochbau oder auch im Flugzeugbau wesentlich höhere Ansprüche in bezug auf Feuchtigkeitsbeständigkeit, Festigkeit und Dauerfestigkeit.

5.2.1. Glutin-Leime

Hauptbestandteile des Glutin-Leims sind die Kollagene, stickstoffhaltige, hochmolekulare Eiweißverbindungen, welche aus Häuten, Sehnen und Knochen gewonnen werden. Der Knochenleim wurde hierbei als letzter durch den Physiker Denis Papin (1647-1710) entdeckt, indem es ihm gelang, diese Kollagene in dem "Papinschen Dampfkochtopf" unter Druck bei hoher Temperatur aus den Knochen zu lösen, wobei sie in Glutin übergehen.⁹⁶

In seiner gereinigten Form ist Glutin als Gelatine bekannt. Um Glutinleime vor Zerstörung durch Pilze und Bakterien zu bewahren, ist die Zugabe von Konservierungsmitteln erforderlich.

Die Verarbeitung erfolgt im wassergelösten Zustand bei einer Temperatur von 50°C (Solbildung). Mit der Abkühlung erfolgt die Sol-Gel-Umwandlung, die zum Aufbau von Adhäsionskräften führt. Bei zunehmender Diffusion des Wassers wachsen dann die Kohäsionskräfte im Leim an und beenden die Abbindung nach ungefähr 24 Stunden.

Durch ihre Feuchte- und Wasserempfindlichkeit ist die Verwendung von Glutin-Leimen auf Innenräume begrenzt und daher vor allem im Möbelbau üblich.

5.2.2. Blotalbumin-Leime

Diese nur selten vorkommenden Leime werden aus dem Schlachtblut von Rindern und Pferden hergestellt. Als Eiweißstoff hat Blotalbumin keine lange Haltbarkeit. In Wasser gelöst und mit Kalkhydrat versetzt, vollzieht sich bei der Gerinnung die Sol-Gel-Umwandlung unter gleichzeitiger Diffusion des Wassers. Seine Quellfähigkeit und Wasserlöslichkeit verliert es durch eine chemische Umwandlung mit dem Kalkhydrat unter Hitze und ist daher nur im Heißverfahren verwendbar.

Die Verwendung ist von starker Geruchsbelästigung begleitet.

5.2.3. Kasein-Leime

Kasein-Leime gehören mit zu den ältesten Leimen. So gibt es ein um 1400 in Mitteleuropa verfaßtes Leimbüchlein mit Rezepten, welches dem späteren deutschen Reichspatent sehr nahe kommt:

"Leym sieden: Wyltu leym machen, der in dem waßßer helth, nym ungeleschten kalg 1 teyl und rynderkeße 2 teyl, reyp den und lege yn in warm waßßer, daß die feuchtickeyt daraus gehet und reyß das off eynem steyne undereynander oder stos es in eynem merßßel (Mörser) und leyme den steyn und steyn, holcz oder steyne czußammen oder holcz und holcz; her (er) helt sich".⁹⁷

Kasein ist in der Kuhmilch enthalten und wird durch Säuerung oder Zugabe von Lab, einem Sekret der Magenschleimhaut von Rindern, gewonnen. Ähnlich wie Glutin ist Kasein eine hochmolekulare Eiweiß-Phosphor-Verbindung, welche getrocknet lagerfähig wird.

Mit gelöschtem oder gebranntem Kalk vermischt, wird Kasein wasserlöslich, wobei sich unter Wärmeentwicklung die chemische Umwandlung in Kalziumkaseinat vollzieht. Der Leim geht dann je nach Modifikation langsam in den Gel-Zustand über und ist nicht mehr wasserlöslich. Während dieser Zeit muß das vorhandene Wasser in das Holz diffundieren, weshalb eine vorherige Wartezeit bei offener Leimfuge von 5 - 10 Minuten günstig ist, ohne daß sich eine Haut bildet.

Folgende Festigkeiten können erwartet werden:

Buche -Buche	$T = 1,0-1,25 \text{ KN/cm}^2$
Kiefer - Kiefer	$T = 0,65-0,75 \text{ KN/cm}^2$

Das Reichspatent (DRPNo60156) wurde Rudolf Piek für die Zugabe von Wasserglas (Kalzium- oder Natriumsilikat) erteilt, was zu einer Verzögerung der Sol-Gel-Umwandlung führt. Der Abbindeprozeß wird dann durch Druck und Hitze ausgelöst.

Die Feuchtigkeitsbeständigkeit ist als gering einzuschätzen. Obwohl die erneute Trockenfestigkeit des Leimes fast den ursprünglichen Festigkeiten entspricht, kommt es oft zu einem Öffnen der Fugen infolge Eigenspannungen, da der erforderliche Anpreßdruck fehlt.

5.2.4. Polymerisations-Kunsthharzleime

Unter Polymerisation versteht man die Verkettung einfacher molekularer Bausteine, den Monomeren, zu Makromolekülen, den Polymeren.

Als Ausgangsstoffe für Holzleime ist vor allem Polyvinylacetat von Bedeutung. Es entsteht unter Anlagerung von Essigsäure an Azetylen. Die Geschwindigkeit der Polymerisation kann gesteuert werden.

Polyvinylacetat wird als Dispersion in Wasser (5-10%) oder in organischen Lösungsmitteln verarbeitet. Der Abbindevorgang vollzieht sich ohne chemische Umwandlung unter Entweichung des Dispersionsmittels und durch Übergang in den Gelzustand. Durch hohe Adhäsionskräfte wird eine große Festigkeit im trockenen Zustand erreicht. Da der Leim weiterhin quellbar bleibt, wobei sich die Kohäsionskräfte stark vermindern, hat er nur eine geringe Festigkeitsbeständigkeit.

Polyvinylacetat-Leime werden daher vor allem im Möbelbau verwendet.

5.2.5. Polykondensations-Kunsthharzleime

Im Unterschied zur Polymerisation kommt es bei der Polykondensation zur Bildung hochmolekularer Strukturen unter Abspaltung von Wasser, Ammoniak oder Schwefelwasserstoff (Kondensation).

Grundstoff aller dieser Leime ist das Formaldehyd (Formalin), welches bei der Verdampfung von Methylalkohol (Methanol) über glühenden Silber- oder Kupfer-Drähten entsteht. In Verbindung mit Harnstoff, Phenol (auch Resorzin) oder Melamin setzt dieser Polykondensationsprozeß, ausgelöst durch Hitze oder sogenannte Katalysatoren, ein. Dieser Prozeß darf aber erst in der Leimfuge abgeschlossen sein, muß also erst unterbrochen und dann durch einen Härter während der Verarbeitung erneut ausgelöst werden.

Bei der Verwendung von Formaldehyd ist die Gefahr einer körperlichen Schädigung durch gute Belüftung zu minimieren.

5.2.5.1 Harnstoff-Formaldehyd-Kunstharzleime

Seinen Namen hat Harnstoff davon, daß er zu geringen Mengen auch im tierischen und menschlichen Harn vorkommt. Auf synthetischem Wege wird Harnstoff unter Druck aus Ammoniak und Kohlensäure hergestellt. Dieser Harnstoff wird dann in 40%-iger wässriger Formaldehydlösung bei Zugabe von Katalysatoren erhitzt, wodurch der Kondensationsprozeß ausgelöst wird.

Bei der Verarbeitung wird die vorher unterbrochene Kondensation vor der Abbindung durch einen Härter - z.B. Salze wie Ammoniumchlorid - wieder angestoßen. Diese Säurehärtung stellt den chemischen Teil der Reaktion dar, währenddessen der physikalische Teil durch die Entfernung des Lösungsmittels sich vollzieht - die Gelbildung.

Je nach Verarbeitungsverfahren wird der Härter untergemischt (für Kalt- und Heißhärtung) oder als Vorstreichverfahren aufgebracht (Kalthärter).

Die Spannzeit der Bauteile ist temperaturabhängig, die aber nicht unter 10°C fallen darf.

Da der Harnstoff-Formaldehyd-Leim nur eine geringe Fugenbeständigkeit hat, ist er ohne Zusätze nur für Furniere geeignet. Für alle anderen Zwecke sind z.B. gehärtete Kunstharze in Pulverform als Zusätze zu verwenden, wofür H.Klemm am 13.12.1936. das DRP 736618 erhielt. (Markenname Kaurit WHK, Melocol-Leim)

Nach einer Wartezeit bei offener Leimfuge von 5 bis 15 Min sind je nach Temperatur und Härter Spannzeiten bis zu 6 Stunden einzuhalten.

Die Beständigkeit der Leimfuge bei Feuchtigkeit ist befriedigend.

5.2.5.2 Phenol-Formaldehyd-Kunstharzleime

Der Hauptrohstoff neben dem Formaldehyd ist das Phenol, auch Karbolsäure genannt, das bei der Destillation des Stein- und Braunkohlenteers anfällt. Besonders das Phenolprodukt Resorzin findet heute eine weite Verbreitung.

Die Phenole werden mit Formaldehyd, Kondensationsmitteln und Lösungsmitteln (Wasser, Azeton) vermischt, wobei die Reaktion durch höhere Temperaturen ausgelöst wird. Als Katalysator dient Natronlauge. Die Kondensation vollzieht sich unter Austritt von Wasser. In diesem sogenannten "Resol"-Zustand ist das Harz noch in Wasser und organischen Lösungen löslich. Die Reaktion wird durch Abkühlung und Stabilisatoren unterbrochen und kann dann nach Auftrag in der Leimfuge, um auszuhärten, durch Hitze wieder angestoßen werden (Resit-Zustand).

Beim Kaltverfahren gibt man eine Säure (z.B. Paratoluolsulfonsäure) als Härter hinzu, die im Harz gebunden wird. Freie Säuren bei zu hoher Dosierung können zur Zerstörung des Holzes und der Leimfuge führen.

Die Wartezeit bei offener Leimfuge währt entsprechend dem Härteranteil länger als bei anderen Leimen, da die Entfernung des Lösungsmittels sich nur sehr langsam vollzieht.

Die Festigkeit und Beständigkeit gegen Nässe, Hitze und Feuchtigkeit ist höher als bei anderen Leimen und dabei koch-, schimmel-, und pilzbeständig, tropenfest und termitensicher.

Durch den Kontakt mit Phenolen kann es im Einzelfall zu Gesundheitsschäden wie Hautekzemen kommen. Die Gefahr bei Resorzin scheint geringer zu sein.

5.2.5.3 Melamin- Formaldehyd- Kunstharzleime

Melamin wird aus Kalkstickstoff gewonnen, wobei die Zwischenprodukte - Zyanamid und Dizyandiamid - in Ammoniakatmosphäre unter Druck erhitzt werden. Zusammen mit Formaldehyd beginnt er zu kondensieren und härtet entweder unter Hitze oder mit Säuren als Härtern kalt aus.

Die Eigenschaften dieses Leimes sind denen von Phenol-Formaldehyd-Leimen vergleichbar. Sie werden ebenfalls bei stark schwankenden Klimabedingungen eingesetzt. Heute werden im Holzleimbau vor allem Resorzin- und Melamin-Formaldehyd-Leime verwendet.

5.2.5.4. Polyurethan- Kunstharzleime

Diese Leime bestehen aus Harnstoff und Polyvinylalkohol. Aufgrund einer geringen Fugenbeständigkeit ist ihre Verwendung im Holzleimbau nicht möglich.

5.2.5.5 Epoxid-Harze

Dieser Leim besteht aus Epichlorhydrin und Diphenolen, die miteinander kondensieren. In der Regel sind Epoxid-Harze je nach Ausgangsstoffen kalthärtend. Aufgrund der hohen Fugenbeständigkeit bei hoher Festigkeit eignen sich diese Harze auch besonders für die Verstärkungsmaßnahmen bei Sanierungen wie zum Beispiel das Austauschen von Balkenköpfen.

5.3 Lamellenstöße

Mit dem Verleimen von Holzlamellen stellte sich von Anfang an das Problem der Stoßausbildung. Bei den durch die Otto Hetzer AG ausgeführten Bauten wurde dieses Problem in der Regel durch bauteillange Lamellen bis zu 15 m in den Ober- und Untergurten

umgangen, so daß nur in den gering belasteten Stegbereichen Vollstöße erforderlich waren. Diese Vollstöße können aber im besten Fall nur als druckkraftschlüssig bezeichnet werden. Die biegesteifen Bauteilstöße wurden durch seitlich mittels Schrauben oder Bolzen befestigte Platten erzielt.

Erst in der DIN 1052 / Aug.1943 wird unter § 18.1 die Stoßausbildung als Schäftung mit Neigungsverhältnis 1:5 bis 1:10 als zweckmäßig empfohlen. Sie muß auch heute noch als wirksamste Verbindung angesehen werden. In derselben Ausgabe wurde auch festgelegt, daß die Erstellung von geleimten Holzbauteilen nur den im Einführungserlaß genannten Firmen gestattet sei.

Aufgrund der schwierigen Herstellung von Schäftungen kam es zur Weiterentwicklung als Keilverzinkung, die 1959 in der DIN 68140 festgelegt wurde. Bereits 1942 wurde die erste Schaftzinkenfräsmaschine von der Firma Knornnagel in Hannover gebaut.⁹⁸

5.4 Ökologische Aspekte

Die Bewertung eines Materials oder einer Bauweise unter ökologischen Aspekten stellt natürlich eine umfangreiche Frage dar, die im Rahmen dieser Arbeit nur gestreift werden kann. Die Bewertung muß alle verschiedenen Phasen der Verwendung eines Materials umfassen. Dieses beinhaltet sowohl seine Herstellung, das Wachstum, die Verarbeitung des Holzes, seinen Einsatz im Bauwerk bis zu seinem Abriß mit der dann notwendigen Entsorgung oder Wiederverwendung.

Das Wachstum des Holzes geschieht mit Hilfe des Sonnenlichtes, wobei im Verlauf der Photosynthese der Luft (CO_2) der Kohlenstoff entnommen und eingelagert wird. Durch die derzeitige weltweite starke Verwendung fossiler Brennstoffe und damit erhöhten Freisetzung von Kohlenstoff trägt die Einlagerung von Kohlenstoff zur Stabilisierung des atmosphärischen Gleichgewichtes bei. Durch die Verwendung des Baustoffes Holz wird der Kohlenstoff zumindest temporär der Atmosphäre entzogen. Bei seiner Entsorgung wird die eingelagerte Energie wieder freigesetzt und kann genutzt werden.

Da Holz durch sein Wachstum nur anisotrop belastbar ist, stellt die Homogenisierung ein Ziel der Weiterverarbeitung dar. Durch die Verwendung von Leimen wird eine spätere Wiederverwendung oder Entsorgung belastet. Der benötigte Energieaufwand ist ebenfalls zu beachten. Je kleiner das Holz in seine Faser zerlegt wird, um anschließend mittels Leim verklebt zu werden, um so mehr Oberfläche muß mit dem Bindemittel benetzt werden, was die ökologische Bilanz belastet.

Dennoch gibt es Bereiche wie Holzwerkstoffplatten, die anders nicht herstellbar wären, wenn man Dielen mit Nut und Feder nicht als Alternative anerkennt. Das optimale Verhältnis zwischen günstiger wirtschaftlicher Verarbeitung, Verbesserung der Trageigenschaften und ökologischer Bilanz muß Ziel dieser Untersuchung sein. Es ist zu erwarten, daß Brettschichtholz nicht unwesentlich schlechter als Vollholz abschneidet. Die Bewertung von Furnierstreifenholz aufgrund seines höheren Energieaufwandes und des hohen Leimverbrauches bleibt abzuwarten.

6.0 Tragwerksentwicklung

Während der Holzleimbau in seiner anfänglichen Entwicklung dem Stahlbau in der Umsetzung neuester statischer Erkenntnisse folgte, nahm diese später zunehmend einen eigenen Verlauf. Die Bogentragwerke des Stahlbaues wurden in Holz nachgebaut und auf gleicher statischer Grundlage berechnet. Selbst der Doppel-T-förmige Querschnitt wurde übernommen, wobei die Material- und Kostenersparnis weniger wichtig war als die besondere Charakteristik dieser Bauweise und seine gestalterische Ausprägung. Daher verschwand diese Querschnittsform in den zwanziger Jahren und wich dem Rechteckquerschnitt, der auch eine bessere Fugenbeständigkeit hatte.

Neben immer größerer Spannweiten stellt die Erforschung immer besserer Verbindungsmittel die Hauptentwicklung des Holzleimbaues dar. Die Übertragung immer höherer Kräfte und die Beachtung eines konstruktiven Holzsschutzes sind Maßstab für deren Beurteilung. Besonders im Brückenbau setzt sich das Material Holz nur langsam durch und wird besonders durch früher gemachte negative Erfahrungen in bezug auf die Dauerhaftigkeit gebremst. So ergaben genaue Forschungen einen nicht nennenswerten Unterschied in den Unterhaltungskosten zwischen Holz- und Stahlbetonbrücken.⁹⁹ Verbunden mit einem konstruktiven Holzschutz lassen sich dann auch neue Bauaufgaben im Bereich des Baues von Straßenbrücken erschließen.

Die Tragwerksentwicklung im Holzleimbau konnte aber nur in wenigen Bereichen einen ganz eigenen Weg gehen, der besonders bei den Rautenlamellendächern und den zeltartigen Dachkonstruktionen deutlich wird. Dachkonstruktionen wie die Überdachung der Recyclinghalle in Wien und das Solebad in Dürrhein zeigen die gesamte Bandbreite der Möglichkeiten und stellen eine formvollendete Einheit von Tragwerk und Dachhaut dar.

7.0 Zusammenfassung

Die Analyse der Vorläufer des Holzleimbaues zeigt, daß die Entwicklung Otto Hetzers nicht eine unabhängige Erfindung war, sondern über Jahrhunderte über den de L'Ormeschen Binder 1560, den Emy'schen Bohlenbinder bis zu dem Bau der ersten verleimten Holztragwerke durch Wiebeking sich anbahnte.

Die Patentrechte konnte Hetzer nur dadurch erhalten, daß er den Spezialfall des gebogenen Sparrens als Patent anmeldete. Otto Hetzers Verdienst liegt in der Entwicklung eines homogenen Holzbaustoffes und der fast industriellen Umsetzung des Holzleimbaues, seiner seriellen Fertigung von Hallen und Dächern für den Industrie- und Wohnungsbau.

In statischer Sicht wurden diese Tragwerke berechnet und in ihrer Form und dem doppelten T-Querschnitt optimiert dem Tragverhalten angepaßt. Die Materialersparnis stellte zu seiner Zeit auf Grund der niedrigen Lohnkosten einen Kostenvorteil dar, der heute nicht mehr relevant ist.

Mit der Weitergabe der Patentrechte an die Schweizer Ingenieure Terner und Chopard gewann der Holzleimbau zwei Ingenieure, die mit großem Gespür diese neue Bauweise mit allen darin enthaltenen Möglichkeiten bis an die Anwendungsgrenzen weiterentwickelten. Eines ihrer ersten Bauwerke, die Reithalle in St. Moritz stellt hierbei einen Meilenstein der frühen Entwicklung dar, der die vielfältigen Anwendungsmöglichkeiten des Materials zeigt. Aber auch die Grenzen wurden hierbei erreicht durch eine zu hoch angesetzte zulässige Spannung. Bei der Brücke über die Wiese führte die ungeschützte Bauweise zu Fäulnisschäden, da die Bauausführung nicht den Regeln des konstruktiven Holzschutzes genügte.

Nachfolgende Hallenbauwerke vergrößerten zwar immer mehr die Spannweiten bis über 100 m, brachten aber nur wenig wirkliche Neuerungen. Hierbei sind vor allem die doppelt gebogenen Dachsparren des Solebades Dürenheim zu nennen, die eine ideale Tragwirkung entsprechend der Hauptbelastung als zugbeanspruchte Konstruktion ermöglichten. Die Tragwerksform läßt sich zwar mit anderen Materialien wie Stahl-Seilen und Textilien leichter erzeugen, jedoch die bauphysikalischen Erfordernisse eines Thermalbades mit dem gelungenen Innenraumeindruck rechtfertigen diesen Aufwand vollkommen.

Die zukünftige Entwicklung besteht in der Erforschung besserer Verbindungsmittel, welche das Verleimen bzw. Verkleben von Bauteilen vor Ort eines Tages ermöglichen. Darüber hinaus finden „homogenisierte“ Baustoffe wie Schichtholz und Brettstreifenholz häufigere Verwendung, die damit geringere Querschnitte oder größere Spannweiten ermöglichen. Ob diese Entwicklung wirklich einen qualitativen Entwicklungsschritt darstellt, ist zu bezweifeln. Neue Tragwerksentwicklungen sind derzeit kaum zu erkennen und stellen oft nur eine aufwendige Lösung im Einzelfall dar, als daß sie eine breite Entwicklung anstoßen würden. Besonders im Bereich der Verbundwerkstoffe zwischen Holz und Beton oder Glas sind noch Entwicklungsfreiräume vorhanden.

8.0 Alphabetisches Literaturverzeichnis

zu Kapitel 2

Adams: Neuere Holzbauweisen, Zentralblatt der Bauverwaltung, 1907/H.21 S.147-148

Administrativer Bericht, Schweizer Landesausstellung in Bern 1914, Bern 1917

Ardant, Paul Joseph: Theoretisch-praktische Abhandlung über Anordnung und Konstruktion der Sprengwerke von großer Spannweite, Dt. hrsg. v. August. v. Kaven, Hannover 1847

Baer, D. H.: Die Hetzer'sche Holzbauweise, Die Schweizerische Baukunst, 1910 H.10 S.133-142

Beyer A, Schütte: Andrea Palladio - Die vier Bücher der Architektur, Deutschsprachl. Übers., Zürich 1983.

Blömer, A.: Ein Beitrag zur Geschichte des Leimes und Leimbaues, Deutscher Zimmermeister, Berlin 1958, H.22 S.533-535, H.23,24 S.553-559

Bloss, E.: Das älteste deutsche Leimbüchlein, BASF Heft 5/6 12/1957 S.188-190

Böhler: Weimar, Lexikon zur Stadtgeschichte

Breuer, Robert: Deutschland auf der Brüsseler Weltausstellung, Moderne Bauformen 1910. S.301-302

Büttner, Oskar/ Hampe, E: Bauwerk, Tragwerk, Tragstruktur, Berlin 1985

Chopard, Charles: Die Hetzersche Holzbauweise, Schweizer Bauzeitung, 1911/H.16 S.214-219

Chopard, Charles: Die neue Lokomotive-Remise der S.B.B. auf dem Aebigut in Bern, Schweizer Bauzeitung, 1913/H.22 S.289-290

Chopard, Charles: Bruchversuche mit Hetzerbindern Schweizer Bauzeitung, 1913/H.22 S.291-294

Chopard, Charles: Einstielige Perrondächer in Hetzer'scher Holzbauweise, Schweizer Bauzeitung, 1925/H.9 S.118

Culmann, Karl : Der Bau der hölzernen Brücken in den Vereinigten Staaten von Nordamerika, Allgemeine Bauzeitung mit Abbildungen, hrsg.v. L. Förster, Wien 1851, S.69-129

Deinhard, Martin: Die Tragfähigkeit historischer Holzkonstruktionen, Karlsruhe, Diss. 1963

De l'Orme, Philibert: Les Nouvelles Inventions, Paris 1561

Die III. Schweizerische Landesausstellung in Bern im Kriegsjahr 1914 – ein Rückblick, Verlag von Ferd Wyss 1914

DRP 60156: Rudolf Piek, Verfahren zur Bereitung von Caseinkitt, Patentamt München

DRP 550647: Verfahren zum Verleimen von Holz, insbesondere Sperr- und Furnierholz, Patentamt München

DRP 736618: Verfahren zur Herstellung von Klebstoffen, Patentamt München

DIN 1052, Ausg. 1933, Patentamt München

Din1052, Ausg 1940, Patentamt München

DIN 68140, Leime, Patentamt München

DIN 68141, Keilverzinkung, Patentamt München

Doebber, A.: Lauchstädt und Weimar, eine Theaterbaugeschichtliche Studie, Berlin 1908

Doebber, A.: Lauchstädt und Weimar, Zentralblatt der Bauverwaltung, 1908/H. S.596

Dutko, Pavel: Grundlagen des Holzleimbaues, Verlag Wilhelm Ernst und Sohn, Heft 51

Emy, A. R.: Trait'é de l'art de charpenterie, Paris 1841

Emy,A.R.: Description d'un nouveau système d'arcs pour grandes charpentes, Paris 1828, Deutsche Übersetz. v. Hoffmann L., Leipzig 1860

Fonrobert, Felix: Grundzüge des Holzbaues

Friebe: Neue Holzbauweisen, Zentralblatt der Bauverwaltung, 1910/H.86 S.561-563

Gehri, Ernst: Entwicklungen des ingenieurmäßigen Holzbaues seit Grubenmann, Schweizer Ingenieur und Architekt, 1983/ H33+34, S. 808-815

Gesteschi, Theodor :Der Holzbau, Hölzerne Dachkonstruktionen, Berlin 1926

Gesteschi, Theodor : Das Zollbau-Lamellendach, Die Bautechnik, 1928/H.10

Gesteschi, Theodor: Der neuzeitliche Holzbau im Eisenbahnwesen, Die Bautechnik, 1923/H.12 S.89-98

Gilly,David: Handbuch der Landbaukunst,mit einem Anhang über Erfindungen, Braunschweig 1797

Graefe, Rainer: Holzleimbau-Vorgänger, Die Bogendächer von Philibert de l'Orme, in: Zur Geschichte des Konstruierens, Stuttgart 1989

Haarmann, A.: Fußböden aus Rotbuchenholz, Centralblatt der Bauverwaltung, 1894/H.7 S.69

Habicht, Franz R.: Geschichte der Entwicklung der hölzernen Brücken, Der Bauingenieur 1933, S.237-239

Hahn, K.:Technische und wirtschaftliche Verbesserungen in der Holzkonstruktion, Deutsche Bauhütte, 1908/H.17 S.142-146

Heckner: Neuzeitliche Holzbauweisen, Der Industriebau, 1923,H8,9, S.89

Hensel, B.: Die Ausstellungsarchitektur der schweizerischen Landesausstellung 1914/1939, DIS 1983

Hetzer, Otto (Jun.):Neuzeitliche Flugzeughallen aus Holz, Illustrierte Flugwoche, 1921/H.15, Luftverkehrssondernummer

Hetzer, Otto(Jun.):Freibau in Holz, Süddeutsche Bauzeitung, 1921/H.15 S.1-6

Hetzer, Otto (Sen.):Otto Hetzer, Weimar - Neue Holzbauweisen, Weimar 1908

Hoeltje, Georg: Georg Ludwig Friedrich Laves, Steinbock Verlag

Holzbautaschenbuch 5. Auflage 1957,Wilhelm Ernst und Sohn

Holzbautaschenbuch 8. Auflage 1986,Wilhelm Ernst und Sohn

Huebner, Fritz: Versuche mit Holzbalken nach Bauweise Hetzer, Schweizerische Bauzeitung, 1924/ H.5 S.51-55 und H.6 S.65-67

Imle, Erhard: Holzkonstruktionen und Holzleimbau.

Informationszentrum Holz: Brettschichtkonstruktionen.

Janssen, Th.: Neue Holzbauweisen, Deutsche Bauzeitung, 1914/H.4 S.51-55.

Kersten, Christian: Freitragende Holzbauten, 2.Aufl., Berlin 1926

Klemm, H.J.: Holzleimbau - Die Geschichte seiner Leime, Bauen in Holz, 10/87 S.658-662

Killer, Joseph: Die Werke der Baumeister Grubenmann. 2.Aufl., Zürich 1959

Kothe, J.: Reitbahn, Zentralblatt der Bauverwaltung, 1908/H. S.444

Kühne, H.: 70 Jahre Holztragwerke in der Schweiz, Schweizer Ingenieur und Architekt, Zürich H.32-33/1979

Leupold, Jacob: Theatrum Pontificale oder Schauplatz der Brücken und des Brückenbaues, Leipzig 1726

Ernst, Max: Flugzeughallen Bauart Hetzer, Industriebau 1914,/H.4, S.88-92

Meschke, Hans Jürgen: Baukunst und Technik der hölzernen Wölbkonstruktionen, Diss., Aachen 1989

Mönk : Holzbau, 2.Aufl., Berlin 1961

Nenning : Moderne Holzbauweisen, Essen 1927

Neumann: Ein altes Bohlendach in Neuruppin, Zentralblatt der Bauverwaltung, 1919/H.88 S.526-527

Otzen, Robert: Die statische Berechnung der Zollbaulamellendächer, Der Industriebau 1923/H.8,9,S.96

Palladio, Andrea: Die vier Bücher der Architektur, Vincenza 1786

Plath, Erich: Die Holzverleimung, Stuttgart 1951

Bestimmungen über die bei bei Hochbauten anzunehmenden Belastungen und die Beanspruchungen der Baustoffe - Preußische Ministerielle Bestimmungen vom 31.1.1910, Berlin 1912

Ritter, Hugo: Über moderne Holzbauweisen, Schweizer Bauzeitung, 1921/H.6 S.66-69

Ros, M.: Der Bau von Gerüsten und Hochbauten aus Holz in der Schweiz, EMPA Zürich 1929

Rug, Wolfgang: Stand und Entwicklungstendenzen im Holzbau 1 und 2, Holztechnologie, Leipzig 1984/4-S.171-175 und 5-S.257-262

Rug, Wolfgang: Tradition mit Trend (T1-T2), Bauzeitung 1991/ H.2,S.115-118 und H.3 S.201-204

Rug, Wolfgang: Innovationen im Holzbau - Die Hetzerbauweise, Bautechnik 1994/H4 S.213-219

Rug, Wolfgang: Die Zollinger-Bauweise, Bautechnik 1992/H4, S.190-196

Schaechterle, K.: Ingenieurholzbauten bei der Reichsbahndirektion Stuttgart

Schaechterle, K.: Lokomotivheizhäuser Stuttgart Abstellbahnhof und Kornwestheim-Verschiebebahn, Die Bautechnik, 1924/H.48 S.543-546

Schöne, W.: Historische Quellen und Geschichte des Holzleimbau, Wiss. Berichte der TH Leipzig, Beiträge zu Geschichte von Technik und technischer Bildung, Heft 8. 1990, S.90-115

Schöne, Werner: Einflußfaktoren auf die Biegefestigkeit von Brettschichtholz und ihre zerstörungsfreie Messung, Diss. Leipzig 1992

SIA- Normen für Holzbauten: Ergebnisse der Festigkeitsuntersuchungen an der E.M.P.A. mit Bauhölzern, in den Jahren 1924/25 als Grundlage für die Normen der SIA

Sonntag, Richard, Über die Entwicklung und den heutigen Stand des deutschen Luftschiffhallenbaues, Industriebau 1912, S.571-613, 1913, S.27-62 und S. 261 - 282

Société Suisse pour Constructions en Bois: Systeme Hetzer SA (Prospekt 1909-1917) ausgeführte Holzleimbauten.(nicht auffindbar)

Stoy, Werner: Der Holzbau, Springer-Verlag 1941

Straub, Hans: Die Geschichte der Bauingenieurkunst, Basel 1949

Troschel : Gestähltes Holz, Zentralblatt der Bauverwaltung, 1912/H.99 S.662-663

Urban, K.: Denkschrift Otto Hetzer, 1913, Weimar

Wagner: Das Goethetheater in Lauchstädt , Zentralblatt der Bauverwaltung, 1908/H.80 S.533-535

Weber, Karl: Über Bohlendächer I, Zentralblatt der Bauverwaltung, 1907/H.81 S.535-536

Wellmann: Eine Bohlenbinderhalle aus Alt-Berlin, Zentralblatt der Bauverwaltung, 1907/H.63 S.417-420

Werner, E: Technisierung des Bauens - Geschichtliche Grundlagen moderner Bautechnik, Düsseldorf, Werner Verlag 1980

Wellmann: Eine Bohlenbinderhalle aus Alt-Berlin, Zentralblatt der Bauverwaltung Nr 63/1907, S. 418-420

Wiebeking, Carl Friedrich: Beyträge zur Brückenbaukunde, München 1809

Winter, Klaus und Rug, Wolfgang: Innovationen im Holzbau - Die Zollingerbauweise, Bautechnik H 4/1992 S. 190-197

Wirth, Hermann: Technik, Zeugnisse der Produktion, Tourist-Verlag Berlin, Leipzig 1990, S.286-287

Zu Kapitel 3

Dokumentation des Informationsdienstes Holz, Beispiele moderner Holzarchitektur,
1. Auflage 1990

Ausstellungshalle von 100 x 100 m Grundfläche, Bauen mit Holz 7/64, S. 309-315

Bahnsteigüberdachung auf dem Bahnhof Gartenfeld der neuen Siemensbahn in Berlin,
Bautechnik, 10/1930, S.148

Bogendach aus Stahl und Holzkonstruktion, Bautechnik,42/30, S.646

Culmann, Karl : Der Bau der hölzernen Brücken in den Vereinigten Staaten von Nordamerika,
Allgemeine Bauzeitung mit Abbildungen, hrsg.v. L. Förster, Wien 1851,
S.69-129

Dem Wellenschlag nachempfunden: Bauen mit Holz, 3/85, S.134-136

Die Hutschenreuther Eisporthalle, Bauen mit Holz, 8/79, S. 396-399

Superlative: 96 m Spannweite, 250m Länge. Das geht auch in Holz, Bauen in Holz, 4/92,
S.270-271

Überdachung eines Holzlagers in Essen: Bauen mit Holz, 7/78, S.348-349

Größte Holzkuppel der Welt für ein Universitäts - Sportzentrum, Bauen in Holz, 8/69,
S.367-368

Ehlbeck, Jürgen: Ingenieurholzbauten in Forschung und Praxis, Bruderverlag Karlsruhe 1982

Ein riesiges Spannband in Holzbauweise, Bauen in Holz, 12/87, S.796-800

Ewald, G.: Zur Ausbildung der Knotenpunkte bei Rauten- Lamellen Konstruktionen, Bauen
mit Holz, 4/85, S.222-223

Frais,J.: Kreiskuppel als Sporthallenüberdachung, Bauen in Holz, 6/85, S.376-377

Dietrich, Richard J.: Holzbrücke bei Essing über den Main-Donau-Kanal, Deutsche
Bauzeitung, 10/87, S. 13-19

Dietrich, R.J. und Huber: Sie folgt der Momentenlinie und bildet dabei Bögen, Bauen mit
Holz, 12/93, S.1003-1009

Ende, W.F.: Holzbauten an der Expo 1964, Holz in Technik und Wirtschaft, Lignum, Zürich
1965

Gall, Eduard: Einige Holzhallen der Deutschen Verkehrsausstellung, München 1925,
Bautechnik 26/25, S.397-400

Geier, I. und R.: Solebad in Bad Dürkheim, Detail 6/87, S.17-22

Geier, I. und R.: Solebad " Solemar " in Bad Dürkheim, Bauwelt 30/88, S.1255-1259

Gerold, Matthias: Verbund von Holz und Gewindestangen aus Stahl, Bautechnik, 4/92,
S.167-178

Gesteschi, Theodor: Fortschritte in der Ausführung neuzeitlicher Holzkonstruktionen,
Bautechnik, 25/28, S.327-344

Hallenbad Sindelfingen, Bauen mit Holz, 1/77, S.5-16

Hempel G.:Holzkonstruktionen mit Stahlseilen, Bauen mit Holz, 1/93 , S. 7-9

- Hengeveld, D.J.: Het Gelamineerde Hout In Nederland, Delftse, Universitaire , 1979
- Herzog, Thomas: Kulturlandschaft -Produktionshallen der Firma Wilkhahn in Bad Münden am Deister. Deutsche Bauzeitung, 2/94, S.14-21
- Hetzer, Otto (Jun.):Freibau in Holz, Süddeutsche Bauzeitung, 1921/H.15 S.1-6
- Jost, K.: Bemerkenswerte Hallenbauten in Holz, Bautechnik, H51/28, S.739-743
- Ketchum, Verne: Timber domes/ design and construction, wood, 10/59, S.400-404 und 11/59, 440-443
- Krabbe, E. und Niemann, H.-J.: Tragverhalten eines hölzernen Zollbau-Lamellendaches am Beispiel der Halle Münsterland. Bauingenieur 2/83, S.277-284
- Krabbe,E. und Heimeshoff, B.: Fußgänger- und Radwegbrücke in Leimbauweise über die Bundesstraße 51. Die Bautechnik 6/63, S. 193-197
- Leonhardt, Fritz: Gestaltungsmöglichkeiten von Ingenieurholzbauten, Bauen in Holz 1/84, S.14-18
- Lips-Ambs, F.J.: Bauten aus Brettschichtholz in Frankreich, Bauen mit Holz, 11/82, S.677-682, 12/82, 1/83, S.12-16
- Mai, Greiner: Meisterleistung im norwegischen Ingenieurholzbau, Bautechnik, 4/92, S. 12
- Maushake Ewald: Ein bemerkenswertes Kuppeldach im Deutschen Pavillon zu Montreal, Bautechnik, 12/67, S. 428
- Mayer-Vorfelder & Dinkelacker/KF: Brillante Lösung- Dreigelenkbögen unter Zollinger Hallen, Bauen mit Holz, 8/92, S.633-635
- Moelven Industrier A.S: Firmenprospekt,1994
- Möhler,K.:Ingenieurholzbau als Hauptthema des 11. Kongresses der IVBH, Bauen mit Holz 10 /80, S.592-594
- Moser, Karl: Ein Meilenstein auf dem Weg zu wirtschaftlichen Großüberdachungen, Bauen mit Holz, 11/85, S.748-751
- Natterer & Dittrich: Netz über dem Wasser, Bauen mit Holz, 2/93, S.84- 87
- Nemaho – Doetinchem Firmenprospekt, 1931
- Nowack, B. und Brunotte, R.: Netzwerkkonstruktionen im modernen Ingenieurholzbau, Bauen mit Holz, 1/70, S.5-8
- Pavel, Dutko, und Pavel, Ferjencik: Geleimte Holzkonstruktionen in der CSSR, Bautechnik, 4/66, S.109-117
- Schaf, Hans: Salzlagerspeicher der N.V. Nandelsmatschappy v.H.G Eggink, Doesburg (Holland), Bautechnik, 41/34, S.549-551
- Staudacher, Emil: Der geleimte Träger als Konstruktionselement im Holzbau, Schweizerische Bauzeitung, 25/77, S.475-477
- Strässler, Hansjakob: Entwicklungen im Ingenieur-Holzbau, Schweizerische Bauzeitung, 25/76, S.340-344
- Taylor Thompson, J.: Cantilever beams in laminated wood, Wood 10/57, S.402-403
- Tenning, Kurt: Fran "Hetzer Binder", Till Limträ Konstruktioner, Töreboda, 1987, unveröffentlicht

Torp, Niels: Gekentertes Wikingerschiff, Deutsche Bauzeitung, 2/94. S.70-74.

Olympia Radstadion, Bautechnik 8/69 S. 416-420

von Büren, Charles: Funktion und Form, Basel 1985

Wenzel, Fritz, Frese, Bernd, Barthel, Rainer: Die Holzrippenschale in Bad Dürkheim, Bauen mit Holz, 5/87, S.282-287

Winter, Klaus und Rug, Wolfgang: Innovationen im Holzbau - Die Zollingerbauweise, Bautechnik H 4/1992, S. 190-197

zu Kapitel 5

Glued lamination in North America, Wood, 11/59, S.444-445

Brettschichtholzfertigung mit getrennter maschineller Lamellensortierung, Bauen mit Holz, 7/93, S607-609

Blömer, A.: Ein Beitrag zur Geschichte des Leimes und Leimbaues, Deutscher Zimmermeister, Berlin1958,H.22 S.533-535, H.23,24 S.553-559

Blömer, A.: Ein Beitrag zur Theorie und Berechnung der geleimten Verbindungen des Ingenieurholzbaues unter besonderer Berücksichtigung der geschäftet und keilgezinkt geleimten Holzverbindungen, Bautechnik, 10/61, S.325-350

Ewert E.:Leime und Leimtechnik beim konstruktiven Holzleimbau, Die Holzbearbeitung, 9/67, S.8-10

Erler.K.: Verbund von Holz mit Polymeren und Stahlstäben, 25/91, S.12

Rug, Wolfgang: Stand und Entwicklungstendenzen im Holzbau1 und 2, Holztechnologie, Leipzig 1984/4-S.171-175 und 5-S.257-262

Klemm, H.J.: Holzleimbau - Die Geschichte seiner Leime, Bauen in Holz, 10/87 S.658-662

Merz, Konrad und Reuthe, A.: Furnierstreifenholz für den Ingenieurbau. 94,S.1343-1346

Wolf:Entwicklungsgeschichte des Holzleimbaues, Internationaler Holzmarkt, 7/68,S.3-5

Zulassungsbescheid Z 9.1-100 : Furnierschichtholz "Kerto-Schichtholz"

9.0 Abbildungsverzeichnis

- Abb.1: Zusammengesetzter Balken im Rathaus von Amsterdam, 14,35m Spannweite, Kersten S.102
- Abb.2: Übersichtstafel "Warum das Holz sich bieget, bricht und steif stehet, auch wie es steif zu machen ist.", Leupold
- Abb.3: Brücke über die Cismone von Andrea Palladio, 1570, Palladio S.229
- Abb.4a: Bohlenbogenbinderkonstruktion nach Philibert de l'Orme, Gilly
- Abb.4b: Philibert de l'Orme, Graefe S.99
- Abb.5: Hal au blé, Bau von Nicolas Le Camus de Mézières, Graefe S.104
- Abb.6a: Entwurf zum Wiederaufbau des Nonnenklosters von Philibert de l'Orme, Graefe S.103
- Abb.6b: Hal au blé, Konstruktion der Holzkuppel, Graefe S.104
- Abb.7: Hal au blé nach Legrand und Molinos, Schnitt, 1783, 41m Spannweite Graefe S.104
- Abb.8: Entwurf einer Basilika von Philibert de l'Orme, 1797, Gilly, Anhang
- Abb.9a: Anatomiegebäude der Königlichen Tierarzeneischule in Berlin, Ansicht, Schnitt, Gilly, Anhang
- Abb.9b: Entwurf einer Basilika nach Philibert de l'Orme von David Gilly, Gilly, Anhang
- Abb.10: Anatomiegebäude der Königl. Tierarzeneischule in Berlin, 1789, Innenansicht, Gilly, Anhang
- Abb.11: Theater Bad Lauchstädt, erbaut 1802 ,Zustand nach der Erneuerung 1906
a) Ansichten, b) Längs- und Querschnitte, c) Grundriß in Logenhöhe,
d) Grundriß in Parterrehöhe, Doeber, Taf.1, S.129 ff.
- Abb.12: Ludwigskirche in Darmstadt nach Moller, Ansicht und Kuppelkonstruktion mit 33,5m Spannweite, erbaut 1827, Graefe S. 110
- Abb.13 a Knotenpunkt der Zollinger-Bauweise, Kersten
- Abb.13 b Bauzustand eines Zollinger-Daches, Kersten
- Abb.14: Brücke bei Wettingen, 61m Spannweite, erbaut 1766, Längs-, Querschnitt und Grundriß, Killer, S.28
- Abb.15: Entwurf der Brücke bei Schaffhausen von Grubenmann, 119m Spannweite, erbaut 1755, Killer, S.30,31
- Abb.16: ausgeführter Entwurf der Brücke bei Schaffhausen von Grubenmann, Killer, S.32,33
- Abb.17: Brücke über die Delaware bei Trenton v. Theodore Burr, 60m Spannweite, erbaut 1806, Culmann, Anhang
- Abb.18: A: Bogen nach de l'Orme - ebene, hochkant gestellte und aufeinander genagelte Lamellen. B: Bogen nach Emy - flachgelegte und verbolzte Bretter, Kersten S. 23

- Abb.19: Bogendach nach Emy, Gebogene Bretter 4,5x13cm, oben 5, unten 8 Stück, Kersten S.23
- Abb.20: Entwurf einer Bogenbrücke von Emy, Kersten S.27
- Abb.21: Entwürfe von Großhallen von Emy, Kersten S.26
- Abb.22: Auf- und Grundriß der Ardant'schen Versuchsvorrichtung für einen aus 5 Nadelholz-Brettlamellen Schienen (15x2,7cm) hergestelltem Bogen von 12,12m äußerem Durchmesser. Die Schienen wurden durch 13 eiserne Bänder und durch 24 Schraubenbolzen - je 2 zwischen zwei Bändern - zusammengehalten. Die Stöße sind so angebracht worden, daß sie immer durch volles Holz der darüber und darunter befindlichen Schiene gedeckt werden, Kersten S.28
- Abb.23: Versuch mit gleichförmig verteilten Gewichten. Die Kurve m-m gibt die unbelastete Bogenform vor Beginn, n-n eine Stunde nach Belastungsbeginn, und r-r im Bruchzustand wieder, Kersten S.29
- Abb.24: Verbessertes Sprengwerksdach nach Ardant, Kersten S.24
- Abb.25: Festhalle für das vierte deutsche Sängerbundfest in Wien, 56m Spannweite, erbaut 1890, Querschnitt, Längsschnitt, Ansicht, Graefe S.113
- Abb.26: Beispiel eines Laves'schen Trägers für 10m Spannweite, Kersten S.12
- Abb.27: Anwendungsbeispiele des Laves'schen Träger als a) Dreigelenkrahmen und als b) Biegeträger, Kersten S.12
- Abb.28: Trägersysteme von Ludwig Laves, Hoeltje S. 248
- Abb.29: Versammlungshalle des King Edward College in Southampton von 1860, v.Büren, S.51
- Abb.30: Firmenbriefkopf mit Abbildung des Firmengeländes von 1921, Staatsarchiv Weimar
- Abb.31: Plan des neuentstandenen Industriegeländes nördlich des Bahnhofs in Weimar, 1907, Lexikon zu Stadtgeschichte
- Abb.32: große Hetzerhalle auf dem Werksgelände in Weimar, 26m Spannweite, erbaut 1910, studentische Tragwerksanalyse 1994, Isabel Bindan und Jörg Nonnig
- Abb.33: große Hetzerhalle, Innenansicht, Photo des Verfassers
- Abb.34: kleine Hetzerhalle auf dem Werksgelände in Weimar, 21m Spannweite, erbaut 1910, studentische Tragwerksanalyse 1994, Kathrin Bleul und Simone Wagner
- Abb.35: kleine Hetzerhalle, Innenansicht, Photo des Verfassers
- Abb.36: Patent No 63018, Fußboden, 1892, Patentamt München
- Abb.37a: Patent No 125895 Zusammengesetzter Holzbalken, Patentamt München
- Abb.37b: Patent No 163144 Zusammengesetzter Holzbalken, 1901 parabolisch zusammengesetzter Balken, 1905, Patentamt München
- Abb.38: Spannungszustand im Bruchzustand mit verschobener Nullachse aufgrund verschiedener E-Moduli bei Druck und Zug, SIA-Normen

- Abb.39: Patent No 197773 gebogener Holzbauteil für vereinigte Dachpfosten und Sparren, 1908 Fig. 1 Fachwerkträgern mit geraden bzw. schrägen Aussteifungen Fig. 2 mit zickzackförmigen Holzstab Fig. 3 mit zusätzlichen Vertikalstab Fig. 4 mit doppelten zickzackförmigen Daigonal- und Vertikalstäben Fig. 5 Verwendung als Bogenbinder, Urban, S.4
- Abb.40: Patent No 225687 Fachwerkträger aus Holz, 1910, Patentamt München
- Abb.41: ehemalige kaiserliche Turnhalle in Mürwik bei Flensburg, erbaut 1907, Schnitt und Bauzustand, Hetzer, Neue Holzbauweisen, S.24
- Abb.42: Fernmeldehalle in Trier, erbaut 1909, Grundriß, Quer- und Längsschnitte, Friebe S. 562
- Abb.43: Museum für Naturkunde in Altenburg, erbaut 1906, a) Schnitte, aus Hetzer, neue Holzbauweisen, S.30, b) Bauzustand aus Urban, S.5
- Abb.44: Stadtgartenhalle in Hagen in Westfalen, erbaut 1909, Längsschnitt, Urban, S.11
- Abb.45: Stadtgartenhalle in Hagen in Westfalen, Querschnitt, 1909, Urban, S.11
- Abb.46: Stadtgartenhalle in Hagen in Westfalen, erbaut 1909, Abbund auf dem Werksgelände in Weimar mit Firmenvilla im Hintergrund, Urban, S.10
- Abb.47: Dachstuhl der Kath. Kirche in Romanshorn, erbaut 1911, Grundriß und Querschnitt, Chopard, S.219
- Abb.48: Dachstuhl des Hotel Beauregard in Lausanne, erbaut 1909, Schnitt, Verbundbalken mit parabolischer Einlage, parabolische Pfette, Baer, S.136
- Abb.49: Dachkuppel des Krematoriums in Zürich, erbaut 1910, Grundriß, Schnitt, Firstpunkt, Baer, S.135
- Abb.50: Dachkuppel des ehemaligen hygienischen Instituts, heute Hauptgebäude der Universität Zürich, erbaut 1911, Außenansicht, Bauzustand, Denkmalpflege Zürich
- Abb.51: Ladestegüberdachung in Erfurt, erbaut 1913, Quer- und Längsschnitt, Gesteschi, Bautechnik, S.94
- Abb.52: Ladestegüberdachung in Erfurt, Bauzustand, Gesteschi, Bautechnik, S.94
- Abb.53: Versandschuppen in Stuttgart, erbaut 1914, Quer- und Längsschnitt, Kersten, S.275
- Abb.54: Versandschuppen in Stuttgart, erbaut 1914, Innenansicht, Schaechterle S. 35
- Abb.55: Bahnsteigüberdachung auf Bahnhof Essen-Nord, erbaut 1921, Quer-, Längsschnitt und Grundriß, Gesteschi, Bautechnik, S.94,95
- Abb.56: Bahnsteigüberdachung auf dem Bahnhof Essen-Nord, Bauzustand
- Abb.57: Bahnsteigüberdachung auf dem Bahnhof Interlaken-West, Chopard, 1911, S.118
- Abb.58: Deutsche Eisenbahnhalle zur Weltausstellung in Brüssel 1910, Bauzustand, Chopard S. 210
- Abb.59: Deutsche Eisenbahnhalle Brüssel, Querschnitt, 43 m Spannweite, Kügler S.210
- Abb.60: Deutsche Eisenbahnhalle, Innenansicht, Breuer S.402
- Abb.61: Deutsche Eisenbahnhalle, Außenansicht, Breuer S.312
- Abb.62: Deutsche Eisenbahnhalle, Pfette, Grundriß, Kügler S.208

- Abb.63: Flugzeughalle in Weimar, erbaut 1912, Außenansicht, Urban, S.23
- Abb.64: Typenentwurf einer Flugzeughalle, 21m Spannweite, erbaut 1912, Seitenansicht, Schnitte, Grundriß, Urban, Anhang
- Abb.65: Einschiffige Bergungshallen, Sonntag S.52
- Abb.66: Typenentwurf einer Reithalle in Minden, 18m Spannweite , erbaut 1913, Schnitt, Urban, S.30
- Abb.67: Statische Berechnung der Reithalle, Urban, Anhang
- Abb.68: Lokomotivschuppen in Weimar, 23m Spannweite, erbaut 1912, Schnitt, Draufsicht, Gesteschi, Bautechnik, S.89
- Abb.69: Lokomotivschuppen in Weimar, Bauzustand, Bautechnik, S.89
- Abb.70: Reithalle in St. Moritz, Ansicht, Chopard S.217
- Abb.71: Reithalle in St. Moritz, Innenansicht, Urban, S.6
- Abb.72: Reithalle in St. Moritz, 19,8m Spannweite, erbaut 1910 Grundriß, Schnitte, Details, Urban, S.7
- Abb.73: Reithalle in St. Moritz, Bauzustand, Chopard, S.217
- Abb.74: Reithalle in St. Moritz, Schnitt, Chopard, S.217
- Abb.75: Reithalle in St. Moritz, Eingang, Chopard, S.216
- Abb.76: Holzlagerschuppen der Möbelfabrik Aschbacher in Zürich, 13,2m Spannweite, erbaut 1919, Querschnitt, Längsschnitt, Chopard, S.218
- Abb.77: Dachkonstruktion des Stallgebäudes in Wernesgrün, 20 m Spannweite, erbaut 1911, Querschnitt, Urban, Anhang
- Abb.78: Sängerfesthalle in Küsnacht bei Zürich, 30m Spannweite, erbaut 1911, Querschnitt, Chopard, S.216
- Abb.79: Sängerfesthalle in Küsnacht bei Zürich, Bauzustand, Chopard, S.216
- Abb.80: Lokomotivremise in Bern, 21-25m Spannweite, erbaut 1911, Schnitt, Chopard S.299
- Abb.81: Lokomotivremise in Bern, Bauzustand, Urban, S.21
- Abb.82: Durch Ch. Chopard vorgenommene Bruchversuche an Dreigelenkrahmen, Urban, S.20.
- Abb.83: Durch F. Hübner an der EMPA in Zürich untersuchte Typen verleimter Biegebalken, 1919, Hübner S. 51
- Abb.84: Ausstellungspavillon für Nahrungs- und Genußmittel der Landesausstellung in Bern 1914, Ansicht, Kersten, S.243
- Abb.85: Ausstellungspavillon für Nahrungs- und Genußmittel der Landesausstellung in Bern 1914, Querschnitt, Staatsarchiv Bern
- Abb.86a: Portal der Ausstellungspavillon für Nahrungs- und Genußmittel der Landesausstellung in Bern 1914, Die Schweizerische Landesausstellung S. 208
- Abb.86b: Ausstellungspavillon für Nahrungs- und Genußmittel der Landesausstellung in Bern 1914, Innenansicht im Bauzustand, Kersten S. 243

- Abb.87: Rekonstruktion des Ausstellungspavillons für Nahrungs- und Genußmittel der Landesausstellung in Bern 1914, 33m Spannweite, Schnitt, Grundriß, Zeichnung des Verfassers
- Abb.88: Schweizerische Landesausstellung in Bern 1914, Lageplan, Die Schweizerische Landesausstellung S.1
- Abb.89: Ausstellungsgebäude Hagenbeck's Tierpark, 26,9m Spannweite, erbaut 1914, Schnitt, Kersten S. 6
- Abb.90: Schiebebühnenhalle am Rosenstein in Stuttgart, 25m Spannweite, erbaut 1915, Innenansicht, Schaechterle, Bautechnik S.545
- Abb.91: Schiebebühnenhalle am Rosenstein in Stuttgart, Quer- und Längsschnitt Schaechterle, Bautechnik S.545
- Abb.92: Sporthalle auf der Baufachausstellung in Leipzig 1913, Innenansicht, Janssen, S.53
- Abb.93: Sporthalle auf der Baufachausstellung in Leipzig 1913, 25m Spannweite, Querschnitt, Längsschnitt, Grundriß, Jannssen S.54
- Abb.94: Exerzierhalle in Wilhelmshaven, Schnitt, 20m Spannweite, erbaut 1913, Denkmalpflege Wilhelmshaven
- Abb.95: Maschinenfabrik in Olten, 6,5/18/6,5m Spannweite, erbaut 1918, Bauzustand, Kühne S.3
- Abb.96: Straßenbahndepotanlage Dreispitz, Basel, 21,5m Spannweite, erbaut 1915, Schnitt, Zeichnung des Verfassers
- Abb.97: Flugzeughalle Dübbendorf, Bauzustand, Kühne S.6
- Abb.98: Rohsalzspeicher beim Berlepschschacht in Staßfurt, erbaut 1914, Längsschnitt, Archiv Bergwerk Staßfurt
- Abb.99: Rohsalzspeicher beim Berlepschschacht in Staßfurt, Innenansicht, Photo des Verfassers
- Abb.100: Rohsalzspeicher beim Berlepschschacht in Staßfurt, 30m Spannweite, erbaut 1914, Querschnitt, Archiv Bergwerk Staßfurt
- Abb.101: Temporärer Fußgängersteg bei Lausanne, 20,5m Spannweite, erbaut 1910, Seitenansicht, Grundriß, Details, Chopard S.215.
- Abb.102: Brücke über die Wiese bei Basel, 33m Spannweite, erbaut 1910, Seitenansicht, Horizontalschnitt, Draufsicht, Urban S.13
- Abb.103: Tessinbrücke bei Dazio grande 1919, Kühne S.4
- Abb.104: Lehrgerüst für eine Mauerwerksbrücke über die Schöllenen bei Göschenen 27m Spannweite, erbaut 1915, aus SIA-Normen für Holzbauten
- Abb.105: Anzeige der Firma Kornerup –Koch, Tenning S.4
- Abb.106: Bahnsteigüberdachung in Trontheim, Tening S.7
- Abb.107: Bahnhof in Malmö, Innenansicht der Querbahnsteighalle 17,9m Spannweiten erbaut 1922, Kersten
- Abb.108: Bahnhof in Malmö, Quer-, Längsschnitt, Kersten
- Abb.109: Firmengelände in Töreboda um 1920, Tenning S.2

- Abb.110: Querbahnsteighalle in Stockholm, Tenning S. 11
- Abb.111: Ausstellungshalle für die R.A.I. in Amsterdam, erbaut 1922, Schnitt, Zeichnung des Verfassers
- Abb.112: Ausstellungshalle für die R.A.I. in Amsterdam, erbaut 1922, Bauzustand Hetzer, Industriebau, S.94.
- Abb.113: Ausstellungshalle für die R.A.I. in Amsterdam, Innenansicht, Hengeveld S.128
- Abb.114: Blumenhalle in Utrecht, Innenansicht, Nemaho Doettinchem Firmenprospekt S.8
- Abb.115: Blumenhalle in Utrecht, Bauzustand, Nemaho Doettinchem Firmenprospekt S.7
- Abb.116: Viehmarkthalle in s'Hertogenbosch , 30m Spannweite, erbaut 1930, Bauzustand, Hengeveld S.129
- Abb.117: Viehmarkthalle in s'Hertogenbosch, 50m Spannweite, erbaut 1938, Schnitt, Orginalplan, Rolf Schmidt
- Abb.118: Viehmarkthalle in s'Hertogenbosch, 50m Spannweite, nach Brand 1947, Hengeveld S.129
- Abb.119: Fabrikhalle in Bogota, Kolumbien, 68m Spannweite, erbaut 1946-48, Bauzustand, Hengeveld S.130
- Abb.120: Flugzeughangar in Barranquilla, 51,3m Spannweite, erbaut 1952, Schnitt, Grundriß, Holzbau S. 359
- Abb.121: Größte ausgeführte Dreigelenkbogenkonstruktionen aus Massiv-querschnitten a) 96m Spannweite, Dreigelenkbogen b) 98m Spannweite, Zweigelenkbogen c)100m Spannweite, Dreigelenkbogen, Hengeveld S.56
- Abb.122: Halle in Tours, Frankreich, 98m Spannweite, erbaut 1962, Schnitt, Gundiß, Details, Bauen mit Holz 7/64, S.309-310
- Abb.123: Eislaufhalle in Bern, Schnitt, 76-86m Spannweite, erbaut 1970 Details a) Pfettenstoß, b) Binderstoß, c) Teilisometrie, v.Büren, S.154,155
- Abb.124: Halle Münsterland, Querschnitt, Draufsicht, Knotenpunkt, Brettlamelle, Verformungsbild, Krabbe S.277
- Abb.125: Sporthalle Charlottenburg, 23m Spannweite, erbaut 1989, Innenansicht, Informationsdienst Holz Objekt 59
- Abb.126: Sporthalle Charlottenburg, biegesteifer Knoten mit Blechen, Informationsdienst Holz Objekt 59
- Abb.127: Sporthalle Charlottenburg, Querschnitt, Längsschnitt, Informationsdienst Holz Objekt 59
- Abb.128: Bahnhof Kopenhagen, Stephan'sche Bauweise, Gesteschi, Bautechnik 1923 H12/ S.96
- Abb.129: Olympiahalle in Lillehammer, 48-96,4m Spannweite, erbaut 1994, Grundriß, Querschnitt, Bauen in Holz 4/92, S.270
- Abb.130: Produktionshalle der Firma Wilkhahn. Seitenansicht, Infodienst Holz, Reihe 1/ Teil 8
- Abb.131: Seeparksaal in Arbon, Schweiz, Schnitt, Grundriß, v.Büren, S.118,119
- Abb.132: Seeparksaal in Arbon, Schweiz, Bauzustand, v.Büren, S.118

- Abb.133: Thalkirchener Brücke,a) Schnitt, b) Seitenansicht, Zeichnung des Verfassers
- Abb.134: Radiale Kuppel -Darstellung unterschiedlicher Stabkuppel-Typen mit a) Schema b) Seitenansicht und c) Ausschnitt, Ketchum, Wood 10/59 S.401
- Abb.135: Geodätische Kuppel , Ketchum, Wood 10/59 S.401
- Abb.136: Trianguläre Kuppel , Ketchum, Wood 10/59 S.401
- Abb.137: Sportzentrum in Zilina/Sileina CSR, 105m Spannweite, erbaut 1980, Bauen in Holz 6/85, S.376
- Abb.138: geodätische Kuppel in Tacoma, 160m Spannweite, erbaut 1982, Bauzustand, Innenansicht, v.Büren, S.111
- Abb.139: geodätische Kuppel in Tacoma, Außenansicht, v, Büren S.110
- Abb.140: Geodätische Kuppel in Oulu, 115m Spannweite, Nordfinnland, Moser S. 748
- Abb.141: Festhalle der Schweizerischen Landesausstellung EXPO 1964 in Lausanne, a)Längsschnitt, b) Grundriß, c) Querschnitt, d) Bauzustand, v.Büren, S.44
- Abb.142: Festhalle der Schweizerischen Landesausstellung EXPO 1964 in Lausanne, 87m Spannweite, Längsschnitt, Zeichnung des Verfassers
- Abb.143: Eislaufhalle in Selb, Oberfranken, Grundriß, Quer-, Längsschnitt, Bauen in Holz 8/79, S.396
- Abb.144: Eislaufhalle in Davos, Schnitt, v.Büren, S.140
- Abb.145: Recyclinghalle Wien, 170m Spannweite, erbaut 1982, a)Außenansicht und Innenansicht, b) Grundriß c)Schnitt, d) Montageablauf, v.Büren, S.62,63
- Abb.146: Solebad Dürenheim, Dachaufsicht der Hänge-Rippenschale, Deail 6/87 S.19
- Abb.147: Solebad Dürenheim, Schnitt, Deail 6/87 S.19
- Abb.148: Solebad Dürenheim, Details der Baumstütze, Deail 6/87 S.22
- Abb.149: Produktionshalle Wilkhahn, Schnitt, Infodienst Holz
- Abb.150: Produktionshalle Wilkhahn, Seitenansicht, Informationsdienst Holz Objekt 52
- Abb.151: Spannbandbrücke nach Burlington, Cullmann, S.396.
- Abb.152: Spannbandbrücke bei Essing, Ansicht, Bauen in Holz 12/87 S.796
- Abb.153: Spannbandbrücke bei Essing, Seitenansicht, dB 10/97 S.14-15
- Abb.154: Spannbandbrücke bei Essing, a)Schnitt, b)Draufsicht, c)Schichtaufbau d)Untersicht mit Aussteifungsverband, e) Seitensansicht , f) Widerlager, Bauen in Holz 12/87, S.797
- Abb.155: Sanierung eines fäulnisgeschädigten Binders, Orginalplan

10.0 Anmerkungen

- ¹ Büttner, Oskar/ Hampe, E: Bauwerk, Tragwerk, Tragstruktur, Berlin 1985
- ² Beyer A, Schütte: Andrea Palladio - Die vier Bücher der Architektur, Deutschsprachl. Übers., Zürich 1983
- ³ Leupold, Jacob: Theatrum Pontificale oder Schauplatz der Brücken und des Brückenbaues, Leipzig 1726
- ⁴ Palladio, Andrea: Die vier Bücher der Architektur, Vincenza 1786
- ⁵ Straub, Hans: Die Geschichte der Bauingenieurkunst, Basel 1949
- ⁶ De l'Orme, Philibert: Les Nouvelles Inventions, Paris 1561
- ⁷ Graefe, Rainer : Holzleimbau-Vorgänger, Die Bogendächer von Philibert de l'Orme, in: Zur Geschichte des Konstruierens, Stuttgart 1989
- ⁸ Gilly, David: Handbuch der Landbaukunst, mit einem Anhang über Erfindungen Aufl. Braunschweig 1797
- ⁹ Doeber, A.: Lauchstädt und Weimar, eine Theaterbaugeschichtliche Studie, Berlin 1908
- ¹⁰ Doeber, A.: Lauchstädt und Weimar, Zentralblatt der Bauverwaltung, 1908/H. S.596
- ¹¹ Wagner, : Das Goethetheater in Lauchstädt , Zentralblatt der Bauverwaltung, 1908/H.80 S.533-535
- ¹² Wirth, Hermann: Technik, Zeugnisse der Produktion, Tourist-Verlag Berlin, Leipzig 1990, S.286-287
- ¹³ Graefe, Rainer : Holzleimbau-Vorgänger, Die Bogendächer von Philibert de l'Orme, in: Zur Geschichte des Konstruierens, Stuttgart 1989
- ¹⁴ Krabbe, E. und Niemann, H.-J.: Tragverhalten eines hölzernen Zollbau-Lamellendaches am Beispiel der Halle Münsterland. Bauingenieur 2/83, S.277-284
- ¹⁵ Gesteschi, Theodor : Das Zollbau-Lamellendach, Die Bautechnik, 1928/H.10
- ¹⁶ Killer, Joseph: Die Werke der Baumeister Grubenmann. 2.Aufl. Zürich 1959
- ¹⁷ Culmann, Karl : Der Bau der hölzernen Brücken in den Vereinigten Staaten von Nordamerika, Allgemeine Bauzeitung mit Abbildungen, hrsgg.v. L. Förster, Wien 1851, S.69-129
- ¹⁸ Gehri, Ernst: Entwicklungen des ingenieurmäßigen Holzbaues seit Grubenmann, Schweizer Ingenieur und Architekt, 1983/ H33+34, S. 808-815
- ¹⁹ Wiebeking, Carl Friedrich: Beyträge zur Brückenbaukunde, München 1809
- ²⁰ Emy, A. R.: Trait'é de l'art de charpenterie, Paris 1841
- ²¹ Ardant, Paul Joseph.: Theoretisch-praktische Abhandlung über Anordnung und Konstruktion der Sprengwerke von großer Spannweite, Dt. hrsg.v. August. v.Kaven, Hannover 1847.

-
- ²² Graefe, Rainer : Holzleimbau-Vorgänger, Die Bogendächer von Philibert de l'Orme, in: Zur Geschichte des Konstruierens, Stuttgart 1989
- ²³ Hoeltje, Georg: Georg Ludwig Friedrich Laves, Steinbock Verlag
- ²⁴ Informationszentrum Holz: Brettschichtkonstruktionen
- ²⁵ Böhler: Lexikon zur Stadtgeschichte, S. 346
- ²⁶ Hengeveld, D.J.: Het Gelamineerde Hout In Nederland, Delftse, Universitaire Pers, 1979.
- ²⁷ Hetzer, Otto (Jun.): Neuzeitliche Flugzeughallen aus Holz, Illustrierte Flugwoche, 1921/H.15, Luftverkehrs-sonderrnummer
- ²⁸ Haarmann, A.: Fußböden aus Rotbuchenholz, Centralblatt der Bauverwaltung, 1894/H.7 S.69
- ²⁹ Hetzer, Otto (Sen.): Otto Hetzer, Weimar - Neue Holzbauweisen, Weimar 1908
- ³⁰ Adams: Neuere Holzbauweisen, Zentralblatt der Bauverwaltung, 1907/H.21 S.147-148
- ³¹ Huebner, Fritz: Versuche mit Holzbalken nach Bauweise Hetzer, Schweizerische Bauzeitung, 1924/ H.5 S.51-55 und H.6 S.65-67
- ³² Friebe: Neue Holzbauweisen, Zentralblatt der Bauverwaltung, 1910/ H.86, S.561-563
- ³³ Hetzer, Otto (Sen.): Otto Hetzer, Weimar - Neue Holzbauweisen, Weimar 1908
- ³⁴ Friebe: Neue Holzbauweisen, Zentralblatt der Bauverwaltung, 1910/H.86 S.561-563
- ³⁵ Hetzer, Otto (Sen.): Otto Hetzer, Weimar - Neue Holzbauweisen, Weimar 1908
- ³⁶ Baer, D. H.: Die Hetzersche Holzbauweise, Die Schweizerische Baukunst, 1910 H.10 S.133-142
- ³⁷ Baer, D. H.: Die Hetzersche Holzbauweise, Die Schweizerische Baukunst, 1910 H.10 S.133-142
- ³⁸ Schaechterle, K.: Ingenieurholzbauten bei der Reichsbahndirektion Stuttgart
- ³⁹ Schaechterle, K.: Ingenieurholzbauten bei der Reichsbahndirektion Stuttgart
- ⁴⁰ Chopard, Charles: Die neue Lokomotive-Remise der S.B.B. auf dem Aebigut in Bern, Schweizer Bauzeitung, 1913/H.22 S.289-290
- ⁴¹ Schaechterle, K.: Ingenieurholzbauten bei der Reichsbahndirektion Stuttgart, S.39
- ⁴² Chopard, Charles: Einstielige Perrondächer in Hetzer'scher Holzbauweise, Schweizer Bauzeitung, 1925/H.9 S.118.
- ⁴³ Kersten, Christian: Freitragende Holzbauten, 2.Aufl., Berlin 1926
- ⁴⁴ Mannheimer, Franz: Eisenbahnhalle, Der Industriebau, 1910, H8, S. 206-216
- ⁴⁵ Breuer, Robert: Deutschland auf der Brüsseler Weltausstellung , Moderne Bauformen 1910. S.301-302

-
- ⁴⁶ Ernst, Max: Flugzeughallen Bauart Hetzer Industriebau 1914,/H.4, S.88-92
- ⁴⁷ Bestimmungen über die bei bei Hochbauten anzunehmenden Belastungen und die Beanspruchungen der Baustoffe - Preußischen Ministeriellen Bestimmungen vom 31.1.1910, Berlin 1912
- ⁴⁸ Sonntag, R.: Über die Entwicklung und den heutigen Stand des deutschen Luftschiffhallenbaues
- ⁴⁹ Urban, K.: Denkschrift über Hetzers neue Holzbauweisen, 1913, Weimar
- ⁵⁰ Gesteschi, Theodor: Der neuzeitliche Holzbau im Eisenbahnwesen, Die Bautechnik, 1923/H.12 S.89-98
- ⁵¹ Kersten, S.216
- ⁵² Bautechnik, 1923, S.89
- ⁵³ Chopard, Charles: Die neue Lokomotive-Remise der S.B.B. auf dem Aebigut in Bern, Schweizer Bauzeitung, 1913/H.22 S.289-290
- ⁵⁴ Chopard, Charles: Bruchversuche mit Hetzerbindern Schweizer Bauzeitung, 1913/H.22 S.291-294
- ⁵⁵ Huebner, Fritz: Versuche mit Holzbalken nach Bauweise Hetzer, Schweizerische Bauzeitung, 1924/ H.5 S.51-55 und H.6 S.65-67
- ⁵⁶ Hensel, B.: Die Ausstellungsarchitektur der schweizerischen Landesausstellung 1914/1939, Dis.1983
- ⁵⁷ Administrativer Bericht, Schweizer Landesausstellung in Bern 1914, Bern 1917
- ⁵⁸ Schaechterle, K.: Ingenieurbauwerke bei der Reichsbahndirektion in Stuttgart, Schweizerische Bauzeitung, S. 214-219
- ⁵⁹ Chopard, Charles: Die Hetzersche Holzbauweise, Schweizer Bauzeitung, 1911/H.16 S.214-219
- ⁶⁰ Schaechterle, K.: Lokomotivheizhäuser Stuttgart Abstellbahnhof und Kornwestheim- Verschiebebahnhof, Die Bautechnik, 1924/H.48 S.543-546
- ⁶¹ Chopard, Charles: Die Hetzersche Holzbauweise, Schweizer Bauzeitung, 1911/H.16 S.214-219
- ⁶² Ros, M.: Der Bau von Gerüsten und Hochbauten aus Holz in der Schweiz, EMPA Zürich 1929
- ⁶³ Tenning, Kurt: Fran "Hetzer Binder", Till Limträ Konstruktioner, Töreboda, 1987, unveröffentlicht
- ⁶⁴ Hetzer, Otto(Jun.): Freibau in Holz, Süddeutsche Bauzeitung, 1921/H.15 S.1-6
- ⁶⁵ Hengeveld, D.J.: Het Gelamineerde Hout In Nederland, Delftse, Universitaire Pers, 1979
- ⁶⁶ Hetzer, Otto(Jun.): Neue Flugzeughallen aus Holz, Illustrierte Flugwoche, 1921, H15
- ⁶⁷ Rug, Wolfgang: Die Zollinger-Bauweise, bautechnik 1992/H4, S.190-196
- ⁶⁸ Otzen, Robert: Die statische Berechnung der Zollbaulamellendächer, Der Industriebau 1923/H.8,9,S.96

-
- ⁶⁹ Winter, Klaus und Rug, Wolfgang: Innovationen im Holzbau - Die Zollingerbauweise, Bautechnik H 4/1992, S. 190-197
- ⁷⁰ Ewald, G.: Zur Ausbildung der Knotenpunkte bei Rautenlamellen Konstruktionen, Bauen mit Holz, 4/85, S.222-223
- ⁷¹ Krabbe, E. und Niemann, H.-J.: Tragverhalten eines hölzernen Zollbau-Lamellendaches am Beispiel der Halle Münsterland. Bauingenieur 2/83, S.277-284
- ⁷² Arbeitsgemeinschaft Holz e.V., Informationsdienst Holz:Sporthalle in Berlin Charlottenburg, 3/90
- ⁷³ Moelven Industrier A.S: Firmenprospekt,1994
- ⁷⁴ Mai, Greiner: Meisterleistung im norwegischen Ingenieurholzbau, Bautechnik, 4/92, S. 12 ff.
- ⁷⁵ Superlative: 96 m Spannweite,250m Länge. Das geht auch in Holz, Bauen in Holz, 4/92, S270-271
- ⁷⁶ Herzog, Thomas: Kulturlandschaft -Produktionshallen der Firma Wilkhahn in Bad Münster am Deister. Deutsche Bauzeitung, 2/94, S.14-21
- ⁷⁷ Arbeitsgemeinschaft Holz e.V., Informationsdienst Holz:Fertigungspavillons Fa. Wilkhahn, Bad Münster.12/93
- ⁷⁸ von Büren, Charles: Funktion und Form, Basel 1985
- ⁷⁹ Dietrich, R.J. und Huber: Sie folgt der Momentenlinie und bildet dabei Bögen, Bauen mit Holz, 12/93, S,1003-1009
- ⁸⁰ Ketchum, Verne: Timber domes/ design and construction, wood, 10/59, S.400-404 und 11/59, 440-443
- ⁸¹ Fraiss,J.:Kreiskuppel als Sporthallenüberdachung, Bauen in Holz, 6/85, S.376-377
- ⁸² Größte Holzkuppel der Welt für ein Universitäts- Sportzentrum, Bauen in Holz, 8/69, S.367-368
- ⁸³ Olympia Radstadion, Bautechnik 8/69,70, S. 416-420
- ⁸⁴ Moser, Karl: Entwicklungstendenzen im modernen Holzbau
- ⁸⁵ Ende, W.F.: Holzbauten an der Expo 1964, Holz in Technik und Wirtschaft, Lignum, Zürich 1965
- ⁸⁶ von Büren, Charles: Funktion und Form, Basel 1985
- ⁸⁷ Möhler,K.:Ingenieurholzbau als Hauptthema des 11. Kongresses der IVBH, Bauern mit Holz 10 /80, S.592-594
- ⁸⁸ von Büren, Charles: Funktion und Form, Basel 1985
- ⁸⁹ Wenzel, Fritz, Frese, Bernd, Barthel, Rainer: Die Holzrippenschale in Bad Dürkheim, bauen mit Holz, 5/87, S.282-287
- ⁹⁰ Geier, I. und R.: Solebad in Bad Dürkheim, Detail 6/87, S.17-22
- ⁹¹ Geier, I. und R.: Solebad " Solemar " in Bad Dürkheim, Bauwelt 30/88, S.1255-1259

⁹² Arbeitsgemeinschaft Holz e.V., Informationsdienst Holz:Fertigungspavillons Fa. Wilkhahn, Bad Münde, 1988

⁹³ Culmann, Karl : Der Bau der hölzernen Brücken in den Vereinigten Staaten von Nordamerika, Allgemeine Bauzeitung mit Abbildungen, hrsg.v. L. Förster, Wien 1851, S.69-129

⁹⁴ Ein riesiges Spannband in Holzbauweise, Bauen in Holz, 12/87, S.796-800

⁹⁵ Blömer, A.: Ein Beitrag zur Geschichte des Leimes und Leimbaues, Deutscher Zimmermeister, Berlin 1958, H.22 S.533-535, H.23,24 S.553-559

⁹⁶ Blömer, A.: Ein Beitrag zur Geschichte des Leimes und Leimbaues, Deutscher Zimmermeister, Berlin 1958, H.22 S.533-535, H.23,24 S.553-559

⁹⁷ Bloss, E.: Das älteste deutsche Leimbüchlein, BASF Heft 5/6 !2/1957 S.188-190

⁹⁸ Dietrich, Richard J.: Holzbrücke bei Essing über den Main-Donau-Kanal, Deutsche Bauzeitung, 10/87, S. 13-19